



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PAULIINA KOLARI

KESTÄVYYDEN HUOMIOON OTTAMINEN PILAANTUNEIDEN  
MAA-ALUEIDEN PUHDISTAMISESSA

Diplomityö

Tarkastajat: Yliopisto-opettaja Marja  
Palmroth ja yliopistonlehtori Terttu  
Hukka  
Tarkastajat ja aihe hyväksytty  
29. maaliskuuta 2017

## TIIVISTELMÄ

**PAULIINA KOLARI:** Kestävyyden huomioon ottaminen pilaantuneiden maa-alueiden puhdistamisessa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 65 sivua, 2 liitesivua

Elokuu 2017

Ympäristö- ja energiatekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Kemia

Tarkastajat: yliopisto-opettaja Marja Palmroth ja yliopistonlehtori Terttu Hukka

**Avainsanat:** pilaantunut maaperä, kestävä kehitys, riskinhallinta, kunnostus, luonnonvarojen kestävä käyttö

Suomessa tehdään pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostus- ja muita riskinhallintatoimia noin 250–300 alueelle vuosittain. Kiireellisimpien riskikohteiden tunnistaminen, tutkiminen ja kunnostaminen on vuonna 2015 valmistuneessa Valtakunnallisessa pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategiassa määritelty osaksi Valtakunnallista pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaa. Ohjelman avulla on tarkoitus tunnistaa ja priorisoida kohteet sekä suunnata voimavarat kiireellisyysjärjestyksen mukaisesti kansallisella tasolla. Yleisin kunnostusmenetelmä on pilaantuneen maan poisto kaivamalla ja korvaaminen puhtailla maa-aineksilla. Kaivu, neitseellisen maan otto ja niihin liittyvät kuljetukset kuluttavat energiaa ja luonnonvaroja sekä aiheuttavat kasvihuonepäästöjä. Kaivettuja pilaantuneita maa-aineksia on vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia ja ne viedään yleensä kaatopaikoille. Niitä ei juuri puhdisteta tai palauteta kiertoon.

Diplomityössä perehdyttiin kestäväyyden huomioon ottamiseen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostustoiminnassa käyttäen esimerkkeinä Valtakunnallista pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaa sekä Tampereella sijaitsevan Ranta-Tampellan asuinalueen pilaantuneen maaperän sekä pohjaveden riskinarviointia ja riskinhallintasuunnitelmaa. Kestävyys rajattiin koskemaan ympäristö-, sosiaalisia ja taloudellisia tekijöitä. Ranta-Tampellan osalta haitta-aineista tarkasteltiin kohteesta tutkittuja kloorattuja liuottimia. Työssä tehtiin tutkimusperustaisesti kestävyystarkastelu Valtakunnalliseen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaan. Tavoitteena oli löytää tietoa, jonka avulla jo olemassa olevia käytänteitä voidaan kehittää. Työ toteutettiin käyttäen kvalitatiivista toimintatutkimusta.

Työssä tuodaan kestävyysnäkökohdat mukaan pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintaa koskevaan päätöksentekoon ja kannustetaan kestävyyttä koskevien ratkaisujen dokumentointiin. Työn konkreettisena toimenpiteenä ja jatkotutkimusaiheena ehdotetaan asiantuntijaryhmässä laadittavaa kysymyslistaa, joka sisältäisi kysymyksiä pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostustoiminnan kestävyysnäkökohdista. Lista on tarkoitettu jaettavaksi riskinarviointi- ja kunnostushankkeen osapuolille. Tärkeimpiä lähtökoh- tia kestävä riskinhallinnan tavoitteiden saavuttamisessa on, että kunnostushankkeisiin osallistuvat sidosryhmät sitoutuvat tavoitteisiin ja pyrkivät omalta osaltaan edistämään kestävä kehityksen periaatteiden toteutumista. Kestävyden arviointi tulisi sisällyttää päätöksentekoprosessiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jolloin se mahdollistaa parhaat edellytykset luonnonvarojen kestäväälle käytölle ja lisäksi toiminnan kustannuste- hokkuus lisääntyy.

## ABSTRACT

**PAULIINA KOLARI:** Sustainability Considerations for Remediation of Contaminated Soil

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 65 pages, 2 Appendix pages

August 2017

Master's Degree Programme in Environmental Engineering and Energy Technology

Major: Chemistry

Examiners: University Teacher Marja Palmroth and University Lecturer Terttu Hukka

**Keywords:** contaminated soil, sustainable development, risk management, remediation, sustainable use of natural resources

Around 250–300 contaminated sites are annually remediated in Finland. The National Investigation and Remediation Programme for Contaminated Sites recognizes urgent high-risk sites, prioritizes them and carries out their research and remediation. Most of the sites use excavation and landfill deployment as a remediation method. This means 1.5 million tons of excavated soil annually. The excavated soil is replaced with virgin soil. Excavation, digging of virgin soil and soil transportations cause greenhouse gas emissions and consume energy and natural resources. The excavated soil is rarely purified and recycled.

This study examines sustainability with respect to research and remediation of contaminated soil. The National Investigation and Remediation Programme for Contaminated Sites and the risk assessment and risk management of the residential area Ranta-Tampella, which is in Tampere, Finland are used as examples. This study includes environmental, economic and social parameters of sustainability as well as a study on the chlorinated solvents in the soil and groundwater from the site Ranta-Tampella that have been examined and analyzed. The objective of this thesis was to make a research based sustainability examination on the National Investigation and Remediation Programme for Contaminated Sites. The sustainability examination was approached by action research. This approach enables to influence and improve practices that already exist.

This thesis introduces sustainability considerations for decision-making processes relative to risk management of contaminated soil and promotes documentation of sustainability assessments. As a concrete proposal for action and further research, this study suggests a questionnaire prepared by a group of experts concerning sustainability aspects of research and remediation of contaminated soil. The questionnaire should be distributed to parties involved in risk assessment and remediation. The commitment of the stakeholders has a crucial role when trying to achieve sustainable risk management. Sustainability assessment should be included in decision making as early as possible to ensure the best possibilities for sustainable use of natural resources and to enhance cost-efficiency.

## ALKUSANAT

Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma sisältää vuosina 2016–2018 kokeiluhankkeen, joka toteuttaa Suomen hallitusohjelman kärkihankkeiden toimenpiteisiin kuuluvaa Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksen ja maa-aineskierrätyksen kokeiluohjelmaa. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostus- ja kokeiluhankkeen (PIMA-kokeiluhankkeen) tavoitteena on vauhdittaa kestävien riskinhallintamenetelmien kehittämistä ja käyttöönottoa. Tämän diplomityön aihevalinta liittyy Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY-keskuksen) hallinnoiman PIMA-kokeiluhankkeen tavoitteisiin. Diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston kemian ja biotekniikan laitokselle.

Kiitän pääsystä osallistumaan Suomen ympäristökeskuksen ja Aalto-yliopiston toteuttaman Pilaantuneiden maa-alueiden kestävät riskinhallintakeinot (PIRISTE) -hankkeen asiantuntijatyöpajoihin. Sain työpajoista paljon arvokasta tietoa. Lisäksi kiitän Pirkanmaan ELY-keskuksen pilaantuneiden maa-alueiden asiantuntijoita.

Kiitos työni ohjaajille yliopisto-opettaja Marja Palmrothille ja yliopistonlehtori Terttu Hukalle Tampereen teknillisestä yliopistosta asiantuntevista kommentteista ja ohjeista.

Kiitos tekniikan tohtori Carina Savander-Rannelle hyvistä syventävistä keskusteluista aihealueeseen liittyen.

Kiitos Maa- ja vesitekniikan tuki ry:lle apurahan myöntämisestä diplomityölleni.

Lopuksi kiitän rakasta perhettäni. Kiitos aviomiehelleni Eerolle tuesta, kannustuksesta ja kärsivällisyydestä koko opiskelujeni ajalta sekä lapsillemme Annille ja Tapiolle, jotka ovat tehneet vapaa-ajastani iloista ja onnellista. Kiitos tuesta myös äidilleni, mummilleni ja appivanhemmilleni.

Tampereella, 13.7.2017

Pauliina Kolari

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	TYÖN TAUSTAA.....	4
2.1	Pilaantuneet maa-alueet Suomessa .....	4
2.2	Pilaantuneen maaperän kestävä riskinhallinta ja kunnostus .....	5
2.3	Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategia.....	9
2.4	Valtion jätehuoltotyöjärjestelmä.....	11
3.	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	13
4.	VALTAKUNNALLINEN PILAANTUNEIDEN MAA-ALUEIDEN TUTKIMUS- JA KUNNOSTUSOHJELMA .....	16
4.1	Tutkimusohjelman priorisointi ja tutkimuskohteiden valmistelu .....	16
4.1.1	Vaiheiden esittely .....	16
4.1.2	Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu .....	17
4.2	Kohdetutkimus ja riskinhallintasuunnitelma .....	18
4.2.1	Vaiheiden esittely .....	18
4.2.2	Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu .....	19
4.3	Kunnostusohjelman priorisointi ja valmistelu .....	23
4.3.1	Vaiheiden esittely .....	23
4.3.2	Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu .....	23
4.4	Toteutussuunnittelu ja kunnostuksen toteutus .....	26
4.4.1	Vaiheiden esittely .....	26
4.4.2	Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu .....	26
4.5	Päätäminen.....	28
4.5.1	Vaiheen esittely.....	28
4.5.2	Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu .....	28
5.	CASE RANTA-TAMPELLA.....	29
5.1	Kohteen esittely .....	29
5.2	Tutkimusmenetelmät.....	33
5.3	Klooratut alifaattiset yhdisteet .....	35
5.3.1	Kloorieteeni .....	36
5.3.2	Dikloorieteeni .....	37
5.3.3	Trikloorieteeni .....	37
5.3.4	Tetrakloorieteeni.....	38
5.4	Kloorattujen liuottimien kulkeutuminen ja altistumisreitit.....	40
5.5	Riskinhallintasuunnitelman kestävyystarkastelu .....	41
6.	POHDINTA .....	48
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	51
	LÄHTEET.....	54

LIITE A: PIRKANMAAN ELY-KESKUKSESSA KÄYTYJEN OHJAUSKOKOUSTEN OSALLISTUJAT

LIITE B: VALTAKUNNALLISEN PILAANTUNEIDEN MAA-ALUEIDEN TUTKIMUS- JA KUNNOSTUSOHJELMAN TUTKIMUSPERUSTAISEN KESTÄVYYSTARKASTELUN PÄÄKOHDAT

## LYHENTEET

DCE	Dikloorieteeni
DNAPL	Dense non-aqueous phase liquid, vettä raskaampi veteen liukenematon faasi
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
GC	Gas chromatography, kaasukromatografia
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardointijärjestö
MATTI	Maaperän tilan tietojärjestelmä
MASA	Valtioneuvoston asetus rakentamisen maa-ainesjätteiden hyödyntämisestä
MARA	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa
MS	Mass spectrometry, massaspektrometria
NICOLE	Network for Industrially Contaminated Land in Europe, teollisuuden saastuttaman maan hallinnointia koskeva eurooppalainen verkosto
PCE	Perkloorieteeni, tetrakloorieteeni
PIMA-asetus	Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista
PIMA-ilmoitus	Ilmoitus pilaantuneen maaperän puhdistamisesta
PIMA-kokeiluhanke	Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostus- ja kokeiluhanke
PIMA-strategia	Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia
PIRISTE-hanke	Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot -hanke
SuRF-UK	Sustainable Remediation Forum UK, Isossa-Britanniassa kestävä kunnostuksen edistämiseksi toimiva verkosto
TCE	Trikloorieteeni
TUOPPI	Tutkimusohjelman priorisointi

VC	Vinyylikloridi, kloorieteeni
VJHT-järjestelmä	Valtion jätehuoltotyöjärjestelmä

# 1. JOHDANTO

Euroopassa on 2,5 miljoonaa pilaantuneeksi epäiltyä tai todettua maa-aluetta, joista 340 000 arvioidaan olevan niin pilaantuneita, että ne vaativat riskinhallintatoimia. Niin Euroopassa kuin Suomessa maaperän pilaantumista ovat aiheuttaneet lähinnä luvaton tai puutteellinen jätehuolto sekä haitallisten aineiden virheellinen käyttö palvelualoilla ja teollisuudessa. Palvelutoiminnalla tarkoitetaan lähinnä huoltoasemia. Teollisuuden toimialoista yleisin pilaantumisen aiheuttaja on metalliteollisuus. (Panagos *et al.* 2013; Pyy & Laitinen 2016, s. 47) Useimmiten pilaantumista EU-maissa ovat aiheuttaneet raskasmetallit tai öljytuotteet (Pyy *et al.* 2017, s. 61). Riskinhallintatoimista aiheutuvat vuosittaiset kustannukset ovat noin 6 miljardia euroa (Panagos *et al.* 2013).

Suomessa tehdään pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostus- ja muita riskinhallintatoimia noin 250–300 alueelle vuosittain. Tutkittavana ja mahdollisesti kunnostettavana on vielä yli 10 000 aluetta. Rahaa hankkeisiin käytetään vuosittain 50–100 miljoonaa euroa. Useimmiten kunnostaminen tehdään pilaantuneisuudesta aiheutuvien maankäytön rajoitteiden poistamiseksi, vedenhankinnan turvaamiseksi pohjavesialueilla tai terveysriskien vähentämiseksi asuinalueilla. (Pyy *et al.* 2017, s. 9) Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman avulla tunnistetaan kiireelliset riskikohteet sekä toteutetaan niiden tutkiminen ja kunnostaminen. Arvion mukaan ohjelmakohteiden osuus kaikista kunnostuksista on 15 % (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 31).

Maaperän pilaantuminen on maailmanlaajuinen ongelma, jonka seurauksena on alettu kehittää poliittisia toimenpiteitä, kuten asetuksia, ohjeita ja rahoitusjärjestelmiä. Alun perin kunnostamisen painopiste oli maaperän perusteellisessa puhdistamisessa, jotta mitään riskejä ei jäisi jäljelle. Kunnostettiin varmuuden vuoksi enemmän kuin mitä kohdekohtaisen riskinarvion näkökulmasta olisi ollut tarpeen. Kohdekohtainen riskinarvio ei kuitenkaan ota huomioon kestävyuden kaikkia näkökulmia, vaan siinä keskitytään haitta-aineiden aiheuttamiin terveys- ja ekologisiin riskeihin. Nykyään korostetaan kohdekohtaisen riskinarvioinnin lisäksi kestävien riskinhallintaratkaisujen merkitystä. (Vegter *et al.* 2002) Kestävyuden käsite ja periaatteet on laajalti hyväksytty pilaantuneen maaperän kunnostuksessa monissa Euroopan maissa, Pohjois-Amerikassa, Australiassa ja Uudessa-Seelannissa (Pollard *et al.* 2004; Green and Sustainable Remediation: State of the Science and Practice 2011; Smith & Nadebaum 2016). Kestävän kunnostuksen esteenä nähdään säädösten ja ohjauskeinojen puute (Bardos *et al.* 2011; Rizzo *et al.* 2015). Vastaavanlainen tilanne on myös Suomessa, jossa selkeän ohjeistuksen puute, esimerkiksi pilaantuneen maaperän uudelleenkäytöstä, on koettu ongelmallisena (Sorvari *et al.* 2009).

Nykyinen kunnostuskäytäntö on riskiperustainen eikä se ota huomioon kestävyysnäkökulmia. Vaikka riskien vähentäminen ihmisen terveydelle ja ympäristölle on edelleen tärkein tavoite, myös useilla muilla ympäristö-, sosiaalisilla ja taloudellisilla tekijöillä on kasvava rooli päätöksenteossa. Diplomityössä perehdyttiin kestävyysnäkökulmaan ottamiseen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostustoiminnassa käyttäen esimerkkeinä Valtakunnallista pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaa sekä Tampereella sijaitsevan Ranta-Tampellan asuinalueen pilaantuneen maaperän sekä pohjaveden riskinarviointia ja riskinhallintasuunnitelmaa. Diplomityössä tehtiin tutkimusperustaisesti kestävyystarkastelu Valtakunnalliseen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaan. Tavoitteena oli löytää tietoa, jonka avulla jo olemassa olevia käytänteitä voidaan kehittää ottamalla kestävyys huomioon ohjelman eri vaiheissa. Työ toteutettiin käyttäen kvalitatiivista toimintatutkimusta. Aihe oli niin laaja, että sen vuoksi työhön tehtiin useita rajoituksia. Vuonna 2015 YK:n jäsenmaat sopivat kestävä kehityksen tavoitteista ja toimintaohjelmasta. Tavoiteohjelma (Agenda2030) ohjaa muun muassa kestävä kehitykseen, jossa otetaan tasavertaisesti huomioon ympäristö, talous ja ihminen. Kestävä kehityksen tavoitteet ohjaavat kestävä kehityksen pyrkimyksiä vuoteen 2030 asti. Tässä työssä painotettiin kestävyysnäkökulmaa, sosiaalisia ja taloudellisia tekijöitä.

Ympäristöministeriössä laaditun Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategian (PIMA-strategian) päämääränä on saada pilaantuneiden maa-alueiden riskit ympäristölle ja terveydelle kestävästi hallintaan vuoteen 2040 mennessä (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategia 2015, s. 9). Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma sekä sen yhteydessä toteutettava Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostus- ja kokeiluhanke (PIMA-kokeiluhanke) toimivat PIMA-strategian toimeenpanon työkaluina. Kokeiluhankkeen tavoitteena on vauhdittaa kestävien riskinhallintamenetelmien kehittämistä ja käyttöönottoa. Tämän diplomityön aihevalinta liittyy PIMA-kokeiluhankkeen tavoitteisiin.

Luvussa 2 esitellään PIMA-strategia ja sen toimeenpanon työkalut. Lisäksi siinä tarkastellaan pilaantuneita maa-alueita Suomessa ja kuvataan kestävä riskinhallinta ja kunnostus. Luvussa 3 selitetään tutkimuksen kulku. Kestävyystarkastelua lähestyttiin kvalitatiivisen toimintatutkimuksen avulla. Luvussa 4 esitellään Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman vaiheet sekä tutkimusperustaisen kestävyystarkastelun tulokset. Tutkimustulosten yhteydessä esitellään kirjallisuusselvitysten perusteella havaittuja hyödyllisiä ohjeita ja kehitysehdotuksia sekä lainsäädännön kohtia kestävyysnäkökulmaan ottamiseen tutkimus- ja kunnostusohjelman eri vaiheissa. Luvussa 5 tarkastellaan Tampereella sijaitsevan Ranta-Tampellan entisen teollisuusalueen ja nykyisen asuinalueen pilaantuneen maaperän ja pohjaveden riskinarviointia sekä arvioidaan riskinhallintasuunnitelman kestävyystarkastelun kestävyystarkastelun käyttöä. Tarkastelu rajattiin koskemaan kohteessa esiintyviä kloorattuja liuottimia. Luvussa 6 pohditaan kestävyystarkastelun käyttöä.

osana Valtakunnallista pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaa. Lisäksi tehdään kehitysehdotuksia nykyisiin käytäntöihin. Luvussa 7 esitetään tutkimuksen johtopäätökset sekä suositus jatkotutkimusaiheeksi. Siinä arvioidaan myös tutkimuksen luotettavuutta.

## 2. TYÖN TAUSTAA

Tässä luvussa esitellään PIMA-strategia sekä tutkimuksen kohteena ollut Valtion jätehuoltotyöjärjestelmän (VJHT-järjestelmän) työkaluihin kuuluva Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma ja siihen kuuluva PIMA-kokeiluhanke. Lisäksi tehdään katsaus pilaantuneisiin maa-alueisiin Suomessa ja kuvataan kestävä riskinhallinta ja kunnostus.

### 2.1 Pilaantuneet maa-alueet Suomessa

Suomessa yleisimmät pilaantumista aiheuttavat toimialat ovat polttoaineen jakeluasemat, kaatopaikat sekä moottoriajoneuvojen korjaus- ja huoltotoiminta. Usein tutkittavilla alueilla ympäristön pilaantuminen on tapahtunut kymmeniä vuosia sitten. Maaperä ja pohjavesi voivat pilaantua toiminnassa, jossa valmistetaan, kuljetetaan, käsitellään tai varastoidaan haitallisia kemikaaleja tai jätteitä. Haitallisia kemikaaleja voi joutua maaperään virheellisten käsittelytapojen, vahinkojen tai onnettomuuksien seurauksena. Pilaantuminen voi aiheutua myös pitkän ajan kuluessa tapahtuneiden vähittäisten päästöjen seurauksena. Joskus syynä on aiemmin käytössä ollut tapa haudata jätteitä maahan. Myös alueen ulkopuolelta ilman tai veden mukana tuoma kuormitus tai alueelle muualta tuodut jätteet voivat pilata maaperän. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 12–13)

Suomessa maaperän pilaantumista on selvitetty 1980-luvulta lähtien. Maaperän tilan tietojärjestelmä (MATTI) on ympäristöhallinnon ylläpitämä maaperän pilaantumista koskevien kohdetietojen hallintaan rakennettu valtakunnallinen tietojärjestelmä. Järjestelmässä on tietoja alueista, joissa maaperään on saattanut päästä haitallisia aineita alueella tapahtuneesta toiminnasta. Tietojärjestelmässä olevista kohteista osa on mukana niissä havaittujen ongelmien vuoksi. Osa kohteista on jo tutkittu ja kunnostettu. Alueiden todellinen tila on tarkoitus selvittää kenttätutkimusten ja historiaselvitysten avulla. (Pyy *et al.* 2013, s. 8) MATTI-järjestelmä sisältää tietoja mahdollisesti pilaantuneista, pilaantuneiksi todetuista, puhdistetuista ja puhtaaksi todetuista kohteista. Järjestelmä sisältää tietoa maa-alueen sijainnista, omistuksesta ja alueella harjoitettavasta tai harjoitetusta toiminnasta sekä maankäytöstä. Lisäksi se sisältää tietoa etäisyyksistä pohjavesialueeseen, vesistöön, pohjaveden ottamoon, asutukseen ja luonnonsuojelualueisiin. Järjestelmä sisältää tietoa myös ympäristöolosuhteista, kuten maalajeista. Tietoa on kerätty maaperässä havaituista haitta-aineista, tehdyistä tutkimuksista ja kunnostuksista. (Pilaantuneet maa-alueet 2013) MATTI-kohteet painottuvat Etelä-Suomeen ja rannikkoalueille eli alueille, joissa asutus on tiheää ja teollisuus- sekä yritystoiminta runsasta (Pilaantuneet alueet Suomessa 2014).

Pilaantumisen aiheuttaja on ensisijaisesti vastuussa maaperän puhdistamistarpeen selvittämisestä ja puhdistamisesta (Ympäristönsuojelulaki 2014). Kiinteistönomistaja, -haltija tai kunta voivat joutua toissijaiseksi maksuvelvolliseksi. Mikäli kunnostusvelvollinen ei ole tiedossa tai tavoitettavissa tai on kohtuutonta vaatia vastuullista kunnostamaan alue, tutkiminen ja kunnostaminen edellyttävät valtion tukea tai muuta toissijaista rahoitusta. Jätehuoltotyömääräraha on valtion talousarviossa varattu pilaantuneiden maa-alueiden puhdistusta varten. Ympäristöministeriö myöntää vuosittain rahaa elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksille (ELY-keskuksille) akuuttia ympäristö- tai terveystueta aiheuttavien alueiden tutkimiseen ja kunnostamiseen. (Pilaantuneen maa-alueen puhdistamisen rahoitus 2015) Ympäristövahinkolain (Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta 1994) mukaisia vahinkoja sekä niiden torjunta- ja ennallistamiskustannuksia korvataan pakollisesta ympäristövahinkovakuutuksesta, kun vahingon aiheuttaja on tuntematon tai maksukyvytön. Maksuvelvollisia ovat yksityisoikeudelliset yhteisöt, jotka harjoittavat kemikaaliturvallisuuslain (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 2005) tai ympäristönsuojelulain (2014) mukaan lupavelvollista toimintaa. (Pilaantuneen maa-alueen puhdistamisen rahoitus 2015)

## 2.2 Pilaantuneen maaperän kestävä riskinhallinta ja kunnostus

Kestävä kehitys määriteltiin ensimmäisen kerran Brundtlandin komission vuoden 1987 raportissa *Our Common Future* (1987). Komission mukaan kestävä kehitys tarkoittaa yhteiskunnallisen toiminnan kehitystä, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omia tarpeitaan. Nämä periaatteet ovat sittemmin muovautuneet kokonaisuudeksi, jossa pyritään maksimoimaan toiminnan kokonaisyhyödyt ottaen huomioon ympäristöä, yhteiskuntaa ja ihmistä sekä taloutta koskevat vaikutukset (Kuva 1). Periaatteita on pyritty hyödyntämään muun muassa politiikassa ja yrity maailmassa (Kohti kestäviä valintoja – Kansallisesti ja globaalisti kestävä Suomi 2006).

Kestävän kehityksen periaatteista ympäristötekijät tarkoittavat kunnostuksen ympäristövaikutuksia, kuten päästöjä maaperään, veteen tai ilmaan, luonnonvarojen käyttöä ja ekologisia haittoja sekä jätteiden syntyä. Sosiaaliset tekijät tarkoittavat ihmisten elinoloihin ja hyvinvointiin liittyviä vaikutuksia, kuten ihmisten terveyteen, turvallisuuteen ja viihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä (Harclerode *et al.* 2016). Taloudelliset tekijät ottavat huomioon kunnostuksen kustannukset ja taloudelliset hyödyt. Taloudelliseen kestäväan kehitykseen kuuluu sekä ekologinen että sosiaalinen vastuu. Taloudellisessa kestävässä kehityksessä otetaan huomioon ympäristön kantokyky ja tulevat sukupolvet. (Taloudellinen kestävä kehitys 2015)

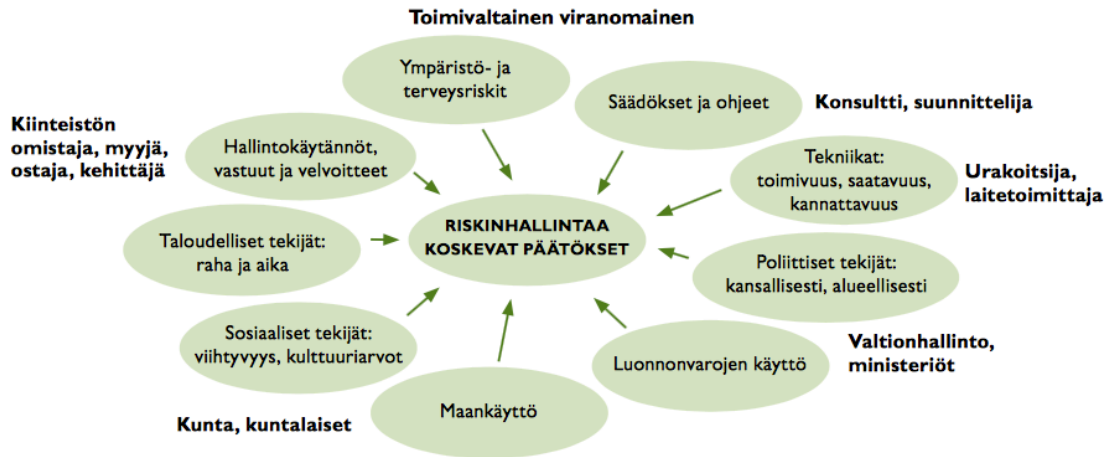


**Kuva 1.** Kestävän kehityksen mukaisessa toiminnassa vallitsee tasapaino ympäristö-, sosiaalisten ja taloudellisten tekijöiden välillä, muokattu lähteestä (Pilaantuneiden maa-alueiden riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, s. 134).

Kestävä kehitys edellyttää toimia niin kansainvälisellä ja kansallisella tasolla kuin alueellisella ja yksittäisen kohteen tasolla. Kansainvälisellä ja kansallisella tasolla ympäristöä kuormittavaa toimintaa ja toimijoita voidaan ohjata kestäviin käytäntöihin erilaisten säästösten, sopimusten ja strategioiden avulla (Vegter *et al.* 2002; U.S. Sustainable Remediation Forum 2009; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, s. 133). Alueellisella tasolla alueiden ja luonnonvarojen kestävää käyttöä voidaan tukea maankäytön suunnittelulla ja rakentamisella, esimerkiksi ottamalla pilaantunut alue huomioon kaavoituksessa riittävän varhaisessa vaiheessa tai pilaavien toimintojen sijoittamista jo ennestään pilaantuneille alueille luonnontilaisten tai pohjavesialueiden sijaan. Yksittäisen kohteen tasolla kestävyyttä voidaan edistää tekemällä valintoja siten, että kunnostuksella saavutettavat kokonaishyödyt ovat pitkän ajan kuluessa suuremmat kuin toimien aiheuttamat haitat. (Sustainable Remediation Forum UK: A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation 2010; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, s. 133) Hyötyjen ja haittojen vertai-

lussa voidaan arvioida esimerkiksi kunnostuksen aiheuttamia suoria ja epäsuoria kustannuksia, kunnostuksesta aiheutuvia ympäristöhaittoja tai kunnostuksen vaikutusta alueen viihtyvyyteen ja jatkokäyttöön.

Ratkaisuja kestäväan riskinhallintaan tulisi pohtia jo alueiden käyttöä suunniteltaessa. Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinta ja alueiden käyttö tukevat toisiaan kestävien kokonaisratkaisujen saavuttamiseksi. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategia 2015, s. 19) Kestävä riskinhallinta edellyttää yhteistyötä ja tiedonvaihtoa viranomaisten välillä sekä keskeisten sidosryhmien, kuten kunnostuksen tilaajan, kunnostuksia suunnittelevan yrityksen edustajien ja hallinnon edustajien sekä paikallisten asukkaiden, osallistumista suunnitteluun (U.S. Sustainable Remediation Forum 2009; Sustainable Remediation Forum UK – Annex 1: The SuRF-UK Indicator Set for Sustainable Remediation Assessment 2011; Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategia 2015, s. 19). Riskinhallintaa tulisi tarkastella eri sidosryhmien näkökulmista. Kuvassa 2 on esimerkki riskinhallintaratkaisuihin vaikuttavista tekijöistä ja päätöksentekoon osallistuvista sidosryhmistä. Päätökseen riskinhallintaratkaisujen valinnasta vaikuttaa monia tekijöitä, joita ei voida tarkastella pelkästään kohdekohtaisella terveys- ja ympäristöriskinarvioinnilla. Esimerkiksi riskinhallintatoimien tekninen soveltuvuus riippuu alueen ympäristöolosuhteista, haitta-aineiden ominaisuuksista ja pilaantuneen alueen laajuudesta. Alueen maankäyttöä koskevissa suunnitelmissa päätöksentekoon vaikuttavat toimenpiteiden vaikutukset alueen arvoon ja jatkokäyttöön. Kunnostuksesta vastuussa olevan tahon kannalta välittömien kustannusten lisäksi olennaista on lopputuloksen varmuus ja pitkäaikaiset vastuut. Paikallisen väestön kannalta tärkeää on alueen viihtyvyys, arvostus ja käytettävyys. Viranomaisten tehtävänä on varmistaa terveyden- ja ympäristönsuojelun toteutuminen ja toimien lainmukaisuus. Konsulttien ja urakoitsijoiden tavoitteena on saavuttaa viranomaisten ja työn tilaajan asettamat vaatimukset. (Pilaantuneen maa-alueen kestävä riskinarviointi ja riskinhallinta 2014, s. 132)



**Kuva 2.** Riskinhallintaratkaisuihin vaikuttavia tekijöitä ja päätöksentekoon osallistuvia sidosryhmiä (Pilaantuneen maa-alueen kestävä riskinarviointi ja riskinhallinta 2014, s. 133).

Riskinhallinnan suunnittelussa ja toteutuksessa tulee varmistaa ihmisten terveyden ja ympäristön suojelu, kestävyysden moniulotteinen ja perusteltu tarkastelu, sidosryhmien osallistuminen päätöksentekoon sekä hankkeen menetelmien huolellinen valinta, suunnittelu ja toteutus (Pyy *et al.* 2017, s. 14). Kestävä riskinhallinta voidaan määritellä eri tavoin, mutta on olemassa yhteisymmärrys sen merkityksestä. Pyrkimyksenä on tasapainottaa kestävyystekijät toiminnassa ja päätöksenteossa. (Sustainable Remediation Forum UK: A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation 2010; Green and Sustainable Remediation: State of the Science and Practice 2011; Holland *et al.* 2011; Cundy *et al.* 2013) Kunnostuksen lopputuloksen tulisi vastata riittävällä tavalla kaikkien keskeisten sidosryhmien tarpeita. Lopullinen päätös on aina kompromissi eri tekijöiden ja näkemysten välillä. (Diamond *et al.* 1999; U.S. Sustainable Remediation Forum 2009; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, s.133, 136)

Euroopassa on viime vuosina pyritty edistämään kestävien riskinhallintatoimien käyttöä. Ohjeistuksia kestäväan kunnostustoimintaan ovat julkaisseet ainakin Network for Industrially Contaminated Land in Europe (NICOLE) ja Sustainable Remediation Forum UK (SuRF-UK) -verkostot (NICOLE Roadmap for Sustainable Remediation 2010; Sustainable Remediation Forum UK: A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation 2010). Vaikka yleisimmät riskinhallintatoimet Euroopassa ovat edelleen massanvaihto ja kaatopaikkasijoitus, monet Euroopan maat ovat onnistuneet lisäämään *in situ* ja *on site* -menetelmien käyttöä kunnostuksessa sekä kaivettujen maa-ainesten käsittelyä (Evaluation of Expenditure and Jobs for Addressing Soil Contamination in Member States 2013; van Liedekerke *et al.* 2014).

Suomessa yleisin kunnostusmenetelmä on pilaantuneen maan poisto kaivamalla ja korvaaminen puhtailla maa-aineksilla. Kaivua käytetään yli 90 %:ssa kunnostettavista kohteista. (Söderström *et al.* 2016, s. 20) Kaivettuja pilaantuneita maa-aineksia on vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia ja ne viedään yleensä kaatopaikoille tai muihin käsittelylaitoksiin. Kaatopaikoilla ne päätyvät peitemaiksi tai rakenteisiin tai ne loppusijoitetaan jätteenä. Niitä ei juuri puhdisteta tai palauteta kiertoon. (Jaakkonen 2008, s. 27) Pilaantuneen pohjaveden kunnostaminen rajoittuu usein pienimuotoisiin suoja-pumppauksiin, joiden puhdistusteho on heikko (Pyy *et al.* 2017, s. 11).

Kunnostustyöstä saattaa aiheutua sosiaalisia ja taloudellisia seurauksia sekä seurauksia ympäristölle (Sustainable Remediation Forum UK – Annex 1: The SuRF-UK Indicator Set for Sustainable Remediation Assessment 2011). Monesti maankaatopaikat ja käsittelyalueet sijaitsevat kaukana kaupungin keskustoista ja muista taajamien rakentamiskohteista. Tämä lisää kuljetusmatkoja, joista seurauksena on ympäristöpäästöjen, liikennemäärien ja kustannusten lisääntyminen. Lisäksi sosiaaliset haitat, kuten ruuhkat ja onnettomuusriskit, lisääntyvät. Pilaantuneiden maa-ainesten korvaaminen neutraalisella aineksella kuluttaa uusiutuvia luonnonvaroja sekä lisää entisestään kuljetusmääriä ja kuljetuksista aiheutuvia haittoja. (Pyy *et al.* 2017, s. 11)

Kunnostustoimille varattava aika ja toimista aiheutuvat kustannukset vaikuttavat keskeisesti kunnostusmenetelmän valintaan. Maan kaivu on nopea tapa toteuttaa kunnostus. Monet *in situ* ja *on site* -menetelmät ovat kestoltaan useasta kuukaudesta useisiin vuosiin, eikä lopputulosta aina osata ennakoida. Pearce *et al.* (2006), Rosén *et al.* (2008), U.S. Sustainable Remediation Forum (2009) ja Perman *et al.* (2011) mukaan hankkeelle saattaa muodostua epäsuoria kustannuksia liittyen esimerkiksi terveystarpeisiin ja alueen käyttömahdollisuuksien heikentymiseen. Kaivaminen ja kaatopaikkasijoittaminen ovat toisaalta merkittävä kustannuserä, jota voidaan vähentää käyttämällä *in situ* ja *on site* -menetelmiä. Huomattavia kustannussäästöjä voidaan saada, jos kaivettuja maa-aineksia pystytään hyödyntämään kohteessa (Järvinen 2015; Niiranen 2016). Kunnostustoimien aikana kannattaa varautua lisätöihin sekä kustannus- ja aikataulumuutoksiin. Kestävyyteen vaikuttavia tekijöitä arvioidaan aina tapauskohtaisesti, sillä kestäviä ratkaisuja ei voida määrittellä yleisellä tasolla. Kestävä kunnostaminen mielletään usein eri kunnostusmenetelmien yhdistelmäksi maksimaalisen nettohyödyn saavuttamiseksi.

### **2.3 Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia**

Ympäristöministeriö asetti syksyllä 2014 työryhmän laatimaan uuden PIMA-strategian, joka julkaistiin syksyllä 2015. Strategia pohjaa yhteiselle näkemykselle siitä, miten pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinta ja kunnostus hoidetaan Suomessa kestävästi ja kustannustehokkaasti. Strategian päämääränä on saada pilaantuneiden maa-alueiden ris-

kit ympäristölle ja terveydelle kestävästi hallintaan vuoteen 2040 mennessä. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 9; Laitinen 2016) Päämäärän saavuttamiseksi on asetettu kuusi keskeistä tavoitetta, jotka tukevat kestävä riskienhallintaa (Kuva 3). Tavoite on, että kaikkein kiireellisimmiksi arvioidut kohteet tutkitaan viiden ensimmäisen ohjelmavuoden aikana ja vähemmän kiireellisemmiksi arvioidut riskikohteet etenevät ohjelmassa vuoden 2020 jälkeen. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 32)



**Kuva 3.** PIMA-strategian tavoitteet ja päämäärä (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 9).

Kuvassa 4 on esitetty PIMA-strategian työkalut sekä toimenpiteet ja ohjauskeinot. PIMA-strategian tavoitteiden saavuttaminen edellyttää erilaisten hallinnollisten, taloudellisten ja informatiivisten ohjauskeinojen käyttöönottoa. Tutkimus-, arviointi- ja riskienhallintamenetelmiä kehitetään, vuorovaikutusta ja viestintää lisätään nykyisestä ja eri toimijoiden välistä yhteistyötä tiivistetään. Lisäksi tuotetaan ohjeita ja oppimateriaalia strategian tavoitteista. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 10, 17)



*Kuva 4. PIMA-strategian toimenpiteet, ohjauskeinot ja työkalut (Pilaantuneen maaperän kestävä kunnostaminen 2016).*

Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma sekä sen yhteydessä toteutettava PIMA-kokeiluhanke toimivat PIMA-strategian toimeenpanon työkaluina. Valtion ympäristötyöjärjestelmä luodaan uudistamalla nykyistä VJHT-järjestelmää (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 10).

## 2.4 Valtion jätehuoltotyöjärjestelmä

Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma vastaa PIMA-strategian tutkimus- ja kunnostustavoitteiden toteuttamisesta pilaantuneiksi epäilyissä isännättömissä kohteissa VJHT-järjestelmän keinoin. Isännätön kohde tarkoittaa pilaantunutta kohdetta, jonka kunnostusvelvollinen ei ole tiedossa tai tavoitettavissa tai on kohtuutonta vaatia vastuullista kunnostamaan kohde. Tällöin kohteen tutkimiseen ja kunnostamiseen tarvitaan valtion rahoitusta. Tutkimus- ja kunnostusohjelma kuuluu VJHT-järjestelmän työkaluihin ja sen tavoitteena on tunnistaa, tutkia ja tarvittaessa kunnostaa merkittävät riskikohteet järjestelmällisesti. Kohteiden priorisoinnissa painotetaan ihmisten terveyttä, vedenhankinnan kannalta tärkeitä pohjavesialueita ja luontoarvoiltaan merkittäviä alueita. Ohjelma edistää ympäristön- ja terveydensuojelun kannalta kiireellisten kohteiden tutkimista ja tarpeellisten riskinhallintatoimien toteuttamista. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 10, 17–18) Valtio osallistuu kohteiden tutkimuksiin ja kunnostuksiin myöntämällä avustuksen tai tekemällä hankintoja. Toisena osapuolena on yleensä kunta, jolle kunnostusvelvoite on kohtuuton.

VJHT-järjestelmä on tarkoitettu tilanteisiin, joissa yleinen etu edellyttää toimenpiteitä eikä jätehuollon laiminlyöntejä saada muulla tavoin korjattua. (Pyötsiä 2017) VJHT-järjestelmää uudistamalla luodaan Valtion ympäristötyöjärjestelmä, sillä nykyisen VJHT-järjestelmän avulla ei aina pystytä edistämään kiireellisten isännättömien riskikohteiden järjestelmällistä tutkimista ja kunnostamista (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 10). Tutkimus- ja kunnostusohjelman toimeenpano on keskitetty Pirkanmaan ELY-keskukseen huhtikuusta 2016 alkaen (Pyötsiä 2017).

Valtakunnallisen tutkimus- ja kunnostusohjelman rinnalla kohteita tutkitaan ja kunnostetaan ilman tukitoimia alueiden rakentamisen ja kiinteistöjen myynnin tai vuokraamisen yhteydessä. Nykyisin yli puolet kunnostettavista kohteista Suomessa päätetään kunnostaa maankäytön muutoksen tai rakentamisen seurauksena. Kunnostus tehdään terveys- ja ympäristöriskien hallinnan takia. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 19)

PIMA-kokeiluhanke toteuttaa pääministeri Juha Sipilän hallitusohjelman kärkihankkeiden toimenpiteisiin kuuluvaa Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksen ja maa-ainekierrätyksen kokeiluohjelmaa. PIMA-kokeiluhankkeen tavoitteena on kehittää kestävien kunnostusmenetelmien osaamista ja käyttöönottoa toteuttamalla kunnostushankkeita, joissa voidaan testata eri riskinhallintaratkaisuja ja teknologioita. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 37; Laitinen 2016) Kokeiluhankkeen kohteet valitaan Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman kohteista ja ne toteutetaan VJHT-järjestelmän prosesseja käyttäen (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 37). Päähuomio on suunnattu klooratuilla liuottimilla pilaantuneiden kohteiden puhdistamiseen (Nygrén 2017, s. 12).

### 3. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

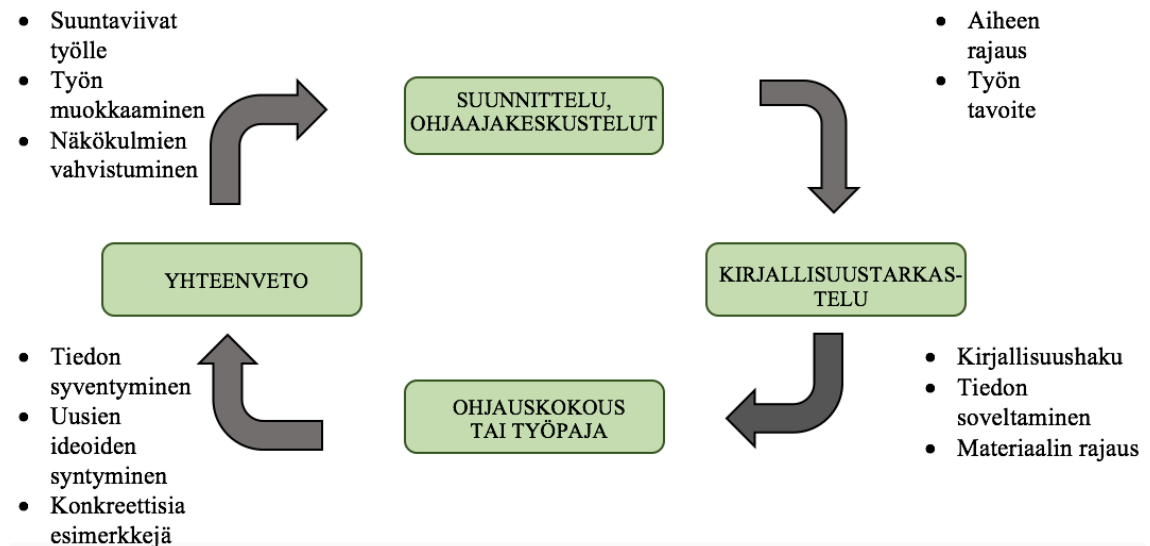
Tutkimus- ja kunnostusohjelman kestävyystarkastelua lähestyttiin kvalitatiivisen toimintatutkimuksen avulla. Toimintatutkimus on lähestymistapa, jossa yhdistyvät tutkimus ja käytännön kehittämistyö. Sen taustalla on käytännön intressi: halutaan tietää, miten asiat voitaisiin tehdä paremmin. Toimintatutkimuksen avulla pyritään löytämään tietoa, jonka avulla jo olemassa olevia käytänteitä voidaan kehittää. Se on tutkimusta toiminnan sisällä toiminnan kehittämistä varten. Tietoa ei tavoitella vain tietämisen vuoksi vaan sen vuoksi, että tiedon avulla voidaan parantaa käytänteitä. (Baum *et al.* 2006; Eskola & Suoranta 2008, s. 126–127; Metsämuuronen 2008, s. 29; Heikkinen 2015, s. 204, 209) Tässä diplomityössä jo olemassa olevaa tutkimus- ja kunnostusohjelmaa pyrittiin kehittämään otamalla kestävyysnäkökulmat mukaan päätöksentekoon.

Yleensä tutkimuksessa tutkimuskysymyksen muotoilu on keskeisin osa-alue. Muotoiluun tarkka kysymys, johon halutaan löytää vastaus tutkimuksen avulla. Tutkimuskysymyksen avulla tutkimus kohdennetaan tarkasti rajattuun teemaan. Toimintatutkimuksessa keskiössä on tutkimustehtävän määrittely. Myös tutkimustehtävä määritellään ja rajataan tarkasti. Toimintatutkimuksen keskeisenä piirteenä on hakea käytäntöön sovellettavaa ja hyödynnettävää tietoa käytänteiden kehittämiseksi. Perinteisesti tutkimuksessa lähdetään liikkeelle teoreettisesta intressistä, kuinka asiat ovat eikä niinkään käytännön hyödyistä. Toimintatutkimuksessa intressinä on selvittää, kuinka asioiden tulisi olla ja millaista tietoa tarvitaan kehittämisen tueksi. Toimintatutkimuksessa tutkijalla on aktiivinen rooli. Tutkija toimii tutkimassaan ympäristössä aktiivisena tekijänä ja vaikuttaa tutkittavaan toimintaan. (Baum *et al.* 2006; Heikkinen 2015, s. 209, 214)

Toimintatutkimuksen eräs lähtökohta on reflektiivinen pohdinta. Reflektio on prosessi, jossa tarkastellaan ja käsitellään uutta tietoa tai uusia kokemuksia ja saadaan niistä uusia näkökulmia aikaisempaan tietoon. Toimintatutkimusta ajatellaan reflektiivisenä kehänä, jossa eri vaiheet seuraavat toisiaan. Kehästä syntyy lopulta spiraali, kun syklejä asetellaan peräkkäin. Ideana on taata tutkimuksen jatkuva kehittyminen toistuvien syklien avulla. Tutkimusspiraali on luonteeltaan sellainen prosessi, joka ohjaa harkitsemaan uudelleen tehtyjä valintoja. (Baum *et al.* 2006; Fox *et al.* 2007 s. 42–52; Heikkinen 2015, s. 211–213; Hirsjärvi *et al.* 2015, s. 14) Tässä työssä reflektion välineenä käytettiin päiväkirjaa, johon diplomityöntekijä kirjoitti havaintojensa pohjalta syntyneitä muistiinpanoja. Päiväkirjan lisäksi reflektion välineinä käytettiin ohjauskokousten ja työpajojen esityslistoja, pöytäkirjoja ja alustuksia.

Kuvassa 5 näkyy työn toteutus, joka noudatti toimintatutkimuksen reflektiivistä kehää. Tutkimusprosessi alkoi diplomityön tehtävänannolla ja työn tavoitteiden tunnistamisella sekä perehtymällä tutkimustyön tekemiseen kirjallisuuden (mm. Valli & Aaltola 2010;

Hirsjärvi *et al.* 2015) avulla. Tämän jälkeen alkoi kirjallisuusaineiston kerääminen ja siihen tutustuminen aiheen hahmottamiseksi. Prosessiin liittyi ohjauskokouksia Pirkanmaan ELY-keskuksen asiantuntijoiden kanssa sekä osallistumisia valtioneuvoston tilaaman ja Suomen ympäristökeskuksen sekä Aalto-yliopiston toteuttaman Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot (PIRISTE) -hankkeen työpajoihin (Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot – PIRISTE 2016). Tutkimusaihetta ja sen rajaamista sekä työn eri vaiheita tarkasteltiin työn ohjaajien kanssa.



**Kuva 5.** Tutkimuksen kulku.

ELY-keskuksessa käytyihin ohjauskokouksiin osallistui Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman sekä PIMA-kokeiluhakkeen asiantuntijoita (Liite A). Ohjauskokouksia johti joko diplomityöntekijä tai hänen ohjaajansa ELY-keskuksesta. Diplomityöntekijä kirjoitti kokouksista muistiinpanot. Ohjauskokouksissa keskusteltiin tutkimus- ja kunnostusohjelman eri vaiheista. Diplomityöntekijän tehtävänä oli tehdä kirjallisuushakua, analysoida tietoa ja pohtia, kuinka kestävyys voitaisiin ottaa huomioon ohjelman eri vaiheissa. Hän esitteli selvitysten tulokset ja syntyneet ideat kokouksissa. Esityksistä keskusteltiin ja keskusteluiden tuloksena ne tarkentuivat.

PIRISTE-hankkeen työpajoissa pohdittiin kestävyysarviointia kunnostushankkeiden eri sidosryhmien näkökulmasta. Sidosryhmien edustajat olivat kunnostusta suunnittelevien yritysten edustajia ja kunnostusten tilaajia sekä viranomaisia ja hallinnon edustajia. Suomen ympäristökeskus kutsui työryhmän koolle, teki asialistan ja vastasi kokouksen käytännön rutiineista. Työpajoissa selvitettiin ohjauskeinoja, joiden avulla pilaantuneita maa-alueita koskevaa päätöksentekoa ja toimintaa voitaisiin suunnata kohti kestävä kiertotaloutta. Kestävyysarviointityöpajojen keskeisistä tuloksista on yhteenveto julkaisussa Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot (Pyy *et al.* 2017). Työpajat tarjosivat diplomityötutkimukselle konkreettisia esimerkkejä ja eri näkökulmia kestävyysarviointiin. Esimerkiksi keskustelu taloudellisista ohjauskeinoista, kuten pilaantuneen

maa-aineksen jäteverotuksesta tai kierrätysmaksuista, herätti mielipiteitä puolesta ja vastaan. Työpajat tukivat ja tarkensivat tutkimus- ja kunnostustoiminnan kestävyysnäkökohtia. Syntyneet ideat saivat vahvistusta.

Tutkimuksen edetessä aiheen rajausta tarkentui. Jokaisen syklin aikana yhteinen ymmärrys pilaantuneen maaperän kestävästä riskienhallinnasta syventyi ja työn sisältö muotoutui. Osa käsitellyistä aiheista oli kertaluonteisia ja niitä käsiteltiin yhden syklin verran. Jotkut asiat olivat kestoaiheita ja ne elivät mukana usean kierroksen ajan. Prosessin vaiheet eivät välttämättä aina seuranneet toisiaan järjestelmällisesti ja vaiheiden sisällöt lomittuivat osittain.

Ranta-Tampellan asuinalueen pilaantuneen maaperän sekä pohjaveden riskinarviointia ja riskinhallintasuunnitelman kestävyyttä tarkasteltiin painottaen ympäristö-, sosiaalisia ja taloudellisia näkökohtia. Tarkastelu rajattiin koskemaan kohteessa esiintyviä kloorattuja liuottimia. PIRISTE-hankkeen työpajat ja kestävään riskinhallintaan liittyvät kirjallisuustarkastelut antoivat pohjan kohteen kestävyuden arvioinnille. Arvioinnissa hyödynnettiin kemian pääaineen osaamista.

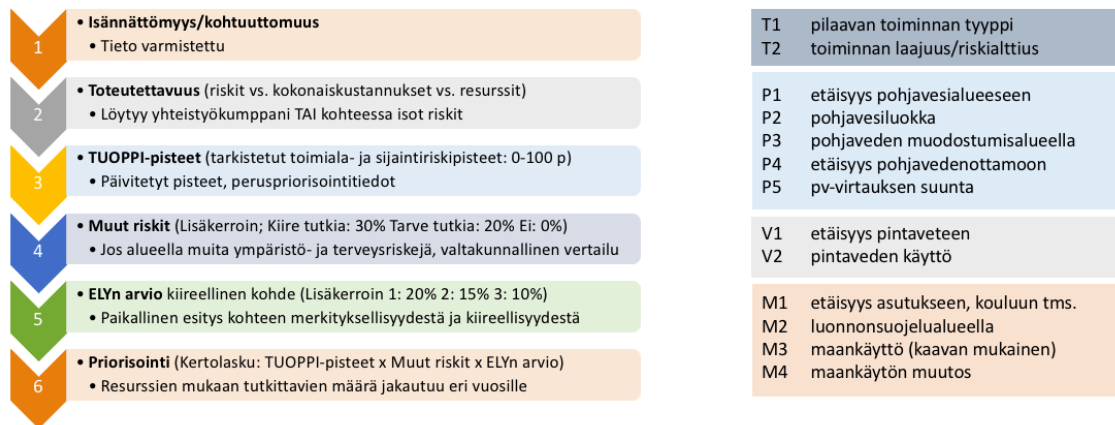
## **4. VALTAKUNNALLINEN PILAANTUNEIDEN MAA-ALUEIDEN TUTKIMUS- JA KUNNOSTUSOHJELMA**

Tässä luvussa esitellään VJHT-järjestelmän työkaluihin kuuluvan Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman vaiheet sekä tutkimusperustaisen kestävyystarkastelun tulokset. Tutkimustulokset ovat syntyneet edellä kuvatussa prosessissa reflektiivisen pohdinnan tuloksena. Tutkimustulosten yhteydessä esitellään kirjallisuusselvitysten perusteella havaittuja hyödyllisiä ohjeita ja kehitysehdotuksia sekä lainsäädännön kohtia kestävyuden huomioon ottamiseen tutkimus- ja kunnostusohjelman eri vaiheissa. Ohjelman vaiheet on jaettu viiteen osioon. Ne eivät kuvaa Pirkanmaan ELY-keskuksen virallista toimintamallia, vaan perustuvat ohjauskokouksissa esitettyihin yksinkertaistuksiin ja kuvaavat diplomityöntekijälle muodostunutta näkemystä toimintamallista. Liitteessä B on esitelty Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman tutkimusperustaisen kestävyystarkastelun pääkohdat.

### **4.1 Tutkimusohjelman priorisointi ja tutkimuskohteiden valmistelu**

#### **4.1.1 Vaiheiden esittely**

Pirkanmaan ELY-keskuksessa käydyissä ohjauskokouksissa keskusteltiin tutkimusohjelman priorisoinnin ja tutkimuskohteiden valmistelun vaiheista. Tutkimusohjelma kootaan MATTI-kohteista. Ympäristöhallinnossa rakennettu MATTI-järjestelmä sisältää tietoja mahdollisesti pilaantuneista, pilaantuneiksi todetuista, puhdistetuista ja puhtaaksi todetuista alueista (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 32–33). Alueelliset ELY-keskukset ovat vastuussa MATTI-järjestelmän ylläpidosta. MATTI-kohteet, joiden pilaantuneisuutta ja puhdistustarvetta ei vielä ole selvitetty, pisteytetään ja järjestetään kiireellisyysjärjestykseen Pirkanmaan ELY-keskuksessa Tutkimusohjelman priorisointi (TUOPPI) -mallin avulla. ELY-keskuksen mukaan pisteytys tapahtuu kohteiden puhdistustarpeen kiireellisyyden perusteella eli kohteille tehdään riskiperustainen priorisointi. Priorisoinnissa painotetaan ihmisten terveyttä sekä pohjavesialueiden ja luontoarvoltaan merkittävien alueiden suojelua (Kuva 6). TUOPPI-mallin pisteytyksen perusteella noin 12 % kohteista kuuluu kaikkein kiireellisimmiksi arvioituihin kohteisiin (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 32–33). Kiireellisyys johtuu pääosin kohteen sijainnista pohjavesialueella. Paikalliset ELY-keskukset tarkistavat alueellensa kohdistuvan alustavan tutkimusohjelman. Vain ympäristö- ja terveystarpeiden kannalta merkittävimmät kohteet pääsevät mukaan tutkimus- ja kunnostusohjelmaan.



**Kuva 6.** Tutkimusohjelman kohteiden valinta ja TUOPPI-kriteerit (Pyötsiä 2017).

ELY-keskuksessa käydyissä ohjauskokouksissa todettiin, että tutkimus- ja kunnostusohjelma vastaa tutkimus- ja kunnostustavoitteiden toteuttamisesta pilaantuneiksi epäillyissä isännättömissä kohteissa, sillä vain niiden tutkiminen ja kunnostaminen edellyttävät valtion tukea tai muuta toissijaista rahoitusta. Paikalliset ELY-keskukset edistävät isännällisten kohteiden tutkimusten etenemistä neuvotteluin ja tarvittaessa valvonnallisin pakokeinoin. Isännällisessä kohteessa pilaantuneisuuden aiheuttaja tai muu puhdistuksesta vastuussa oleva on tunnistettu ja kykenevä vastaamaan kohteen kunnostamisesta. Isännällisten kohteiden tutkimuksesta ja kunnostuksesta vastaavat pääsääntöisesti maanomistajat, toiminnanharjoittajat tai muut vastuutahot. (Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2015, s. 18, 35)

Priorisoinnin jälkeen yhteistyöneuvottelut kuntien kanssa alkavat, allekirjoitetaan konsulttityön tilaussopimus sekä yhteistyösopimus. Tutkimusohjelma valmistuu.

#### 4.1.2 Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu

Tutkimusohjelman priorisointia tehtäessä on keskeistä, että oikeat kohteet tulevat valituiksi tutkimus- ja kunnostusohjelmaan. Kun riskikohteet on tunnistettu, niille tulisi tehdä kestävä riskinhallintasuunnitelma. ELY-keskusten arviot kohteiden kiireellisyydestä sekä muiden riskien kriteerit tulisi määritellä kansallisesti yhteneväisiksi. Priorisointiprosessin dokumentointi tulee tehdä huolella. Dokumentoinnin ja raportoinnin avulla voidaan havainnollistaa ja perustella tehtyjä ratkaisuja.

Tiivis tiedonvaihto ja yhteistyö eri viranomaisten ja muiden toimijoiden välillä edistävät kestävä riskinhallintaa ja kunnostamista. Kunnostushankkeen kannalta keskeisiä sidosryhmiä tulee informoida ja tarvittaessa mahdollistaa näiden osallistuminen päätöksentekoon. Reed *et al.* (2009) määrittelevät sidosryhmät organisaatioiksi, ryhmiksi tai henkilöiksi, joita kunnostus koskee suorasti tai epäsuorasti. Jotta lopputulos palvelisi kaikkia

asianosaisia ja ratkaisut olisivat kokonaisuudessa kestäviä, pyritään sidosryhmien näkemysten yhteensovittamiseen ja kompromissin löytämiseen. Avoin viestintä paikalliselle yhteisölle on tärkeää luottamuksen rakentamiseksi.

Tutkimuskohteita valmisteltaessa olennaista on tutkimusten tavoitteiden määrittäminen. Kestävyyden toteutuminen prosessissa edellyttää osapuolten pitkäjänteistä sitoutumista hankkeeseen sekä työnjaon, vastuiden ja velvoitteiden selvittämistä ja jakamista. Laadittavan työohjelman laajuuden ja tarkkuuden tulee olla linjassa tutkimus- ja kunnostusohjelman vaatimusten kanssa. Laadittujen suunnitelmien ja sopimusten pitää olla riittävän kuvaavia ja yksiselitteisiä. Kestävyyden varmistaminen edellyttää perusteltua ja johdonmukaista tarkastelua, jossa otetaan huomioon kestävyysosatekijät ja niiden yhteensovittaminen. Maankäyttöä koskevat suunnitelmat ovat tärkeitä kunnostukselle varattavan ajan ja riskin hyväksyttävyyden kannalta. Tutkimusohjelman huolellinen suunnittelu mahdollistaa kestävänsä lopputuloksen, jolloin sen tuottamat hyödyt ovat haittoja suuremmat.

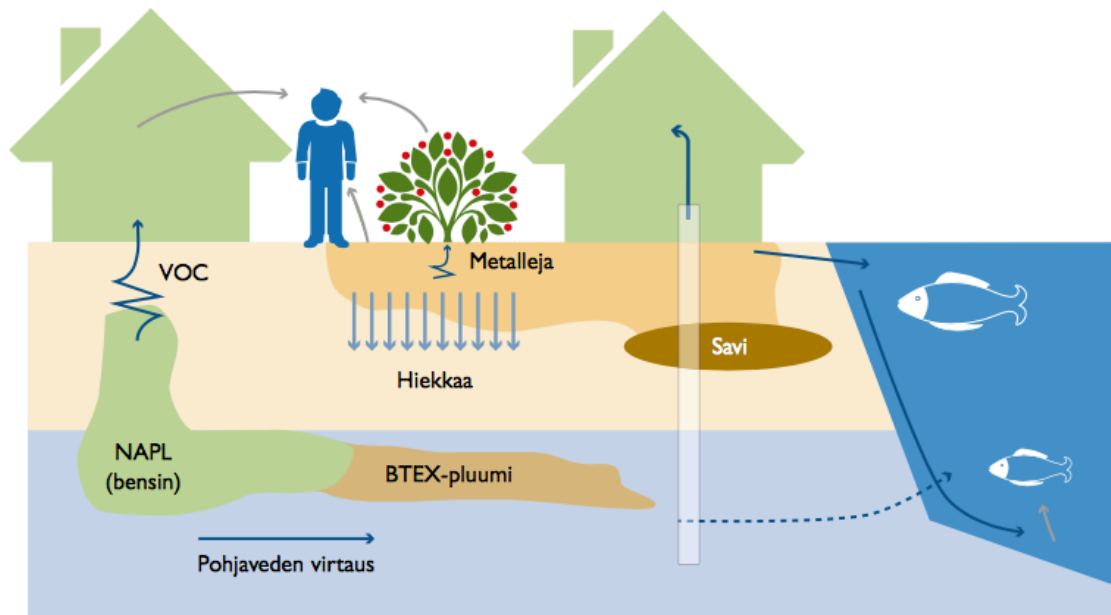
## **4.2 Kohdetutkimus ja riskinhallintasuunnitelma**

### **4.2.1 Vaiheiden esittely**

Pirkanmaan ELY-keskuksessa käydyissä ohjauskokouksissa keskusteltiin kohdetutkimuksen ja riskinhallintasuunnitelman vaiheista. Tutkittavalla alueella tehtävät kohdetutkimukset sisältävät historiaselvityksen, ympäristötutkimukset ja riskinarvion. Altistuminen haitta-aineille arviointihetkellä tai tulevaisuudessa sekä altistumisesta aiheutuvat seuraukset ja haittojen vakavuus ja todennäköisyys on arvioitava kohdekohtaisesti. Kohdetutkimusten tavoitteena on muodostaa arvio maaperän pilaantuneisuudesta ja puhdistustarpeesta. Suomessa haitallisista aineista ympäristölle ja terveydelle aiheutuvat riskit ja haitat arvioidaan valtioneuvoston asetuksella (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 2007), niin kutsutulla PIMA-asetuksella, joka on säädetty maaperän ja pohjaveden puhdistustarpeen arviointiin. Tämä ohjauskeino on luonut oikeudellisen perustan riskiperustaiselle päätöksenteolle.

Kerättyjen tietojen perusteella kohteesta muodostetaan käsitteellinen malli (Kuva 7). Se on riskinarvioinnin työkalu, jonka avulla kohdetietoja voidaan tarkastella ja dokumentoida. Käsitteellisen mallin avulla havainnollistetaan päästölähteet sekä kulkeutumis- ja altistumisreitit ja altistujat. Haitta-ainelähde voi olla maaperässä ja/tai pohjavedessä, josta sille voi altistua suoraan tai veden ja ilman mukana tapahtuvan kulkeutumisen kautta. Haitta-aineella voi olla vaikutus ympäristön laatuun, ihmisten terveyteen tai eliöstöön. Käsitteellistä mallia voidaan tarkentaa vaiheittain. Jos haitta-aineesta aiheutuvaa riskiä tai haittaa ei voida hyväksyä, alue on puhdistettava (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 2007). Tyypillisesti riskien vähentämi-

seen vaadittavat toimet toteutetaan päästölähteisiin tai kulkeutumisreitteihin kohdistetuilla toimenpiteillä (Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites 2008; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, s. 37; Pyy *et al.* 2017, s. 13).



**Kuva 7.** Esimerkki käsitteellisestä mallista, josta selviää haitta-ainelähteet sekä kulkeutumis- ja altistusreitit (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, s. 58).

ELY-keskuksen mukaan kunnostustarpeesta päätetään ympäristötutkimusten ja riskinarvion perusteella. Tämän jälkeen tehdään kunnostuksen yleissuunnitelma. Tulos kirjataan MATTI-rekisteriin. Tarvittaessa kohteeseen valitaan riskinhallintamenetelmä. Tutkimuksista kirjoitetaan tutkimusraportti.

#### 4.2.2 Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu

PIRISTE-hankkeen asiantuntijatyöpajoissa korostettiin, että ympäristötutkimuksia edeltävä näytteenoton suunnittelu ja edustavan näytteen saaminen kohteesta ovat riskinhallinnan perusta ja kestävä riskiperustaisen päätöksenteon keskeinen lähtökohta. Edustava näyte tarkoittaa näytettä, jonka perusteella voidaan tehdä riittävän luotettavia päätelmiä kohteen ominaisuuksista. Näytteenotto suunnitellaan tapauskohtaisesti. Näytteenoton tuloksia käytetään riskinarviointia tehtäessä. Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan tavoitteena on alueella arvioitujen ympäristö- ja terveysriskien vähentäminen hyväksyttävälle tasolle. Kohdetutkimuksen kirjauksia MATTI-rekisteriin tehtäessä on tärkeää, että merkinnät ovat tarkoituksenmukaisia. Laajempaa selvitystä kaipaavien kohteiden osalta kirjaukseen pitäisi lisätä liitteeksi erillinen selvitys maaperän käytön rajoituksesta.

Riskinhallintatoimien tulee johtaa riittäviin ympäristö- ja terveysriskien vähenemisiin. Valittava lähestymistapa, eli kohdistetaanko toimenpiteet haitallisten kemikaalien päästölähteisiin vai kulkeutumis- tai altistumisreitteihin, määräytyy tapauskohtaisesti. (Suter *et al.* 2005; Reinikainen & Sorvari 2016). Reinikainen ja Sorvari (2016) painottavat tutkimuksessaan puhdistustarpeen riskiperustaista arviointia. Riskien hyväksyttävyyttä tutkimus- ja kunnostusohjelman riskinhallintasuunnitelmaa tehtäessä on suhteutettava kestävä kehityksen periaatteisiin niin, että päätöksenteko tukee luonnonvarojen ja maa-alueiden kestävä käyttöä. Kohdekohtaisen riskinarvioinnin tavoitteena on löytää kohteessa esiintyvät todelliset riskit ja kohdistaa riskinhallintatoimenpiteet niihin. Näin toimimalla vältetään turhia kunnostuksia. Alueiden käyttöä suunniteltaessa voidaan tunnistaa riskejä ja toteuttaa kestävä riskinhallinta. Riskinhallintaratkaisuihin päätettäessä hankkeen kokonaistaloudellisuus on arvioitava jo suunnitteluvaiheessa.

Sorvari *et al.* (2009) ja Erdem & Nassauer (2013) huomauttavat, että riskiperustainen pilaantuneisuuden arviointi voi aiheuttaa viestinnällisiä haasteita. Riskinarvioinnissa saatetaan todeta, että maaperä ei ole puhdistuksen tarpeessa, sillä epäpuhtauksien kulkeutuminen tai niille altistuminen ei aiheuta riskiä. Tällaisissa tapauksissa asianosaisten, kuten paikallisten asukkaiden, oikea-aikainen tiedottaminen on erityisen tärkeää, jotta ymmärrys riskiperustaisesta kunnostuksesta lisääntyisi. Asiantuntijatyöpajoissa korostettiin, että perustellun kestävyysarvioinnin avulla voidaan saada helpommin asianosaisten hyväksyntä silloin, kun kohteeseen aiotaan jättää haitta-aineita (Pyy *et al.* 2017, s. 41). U.S. Sustainable Remediation Forum (2009) artikkelissa todetaan, että kestävyysajattelun myötä paikalliset asukkaat on otettu mukaan keskusteluun koskien muun muassa kunnostuksen vaikutusta alueen elinvoimaisuuteen ja asuttavuuteen sekä kunnostuksen jälkeisen tilanteen vaikutusta alueen arvoon ja elämänlaatuun. Kuulemistilaisuuksia voidaan järjestää yksi tai useampia. Ne ovat tarkoitettu yksityisille henkilöille, päiväkodeille ja kouluille, taloyhtiöille ja muille alueen toimijoille. Tilaisuuksien tarkoituksena on jakaa informaatiota ja sitouttaa asianosaiset mukaan suunnitteluun.

Suunnitteluprosessiin osallistumisen tulisi tapahtua riittävän varhaisessa vaiheessa ennen päätösten tekoa, jotta riskinhallintaratkaisuihin olisi mahdollista päästä vaikuttamaan ja osapuolet saataisiin sitoutumaan yhteisiin päämääriin. Viestinnän ja vuorovaikutuksen pyrkimyksenä tutkimus- ja kunnostusohjelman eri vaiheissa on parantaa riskinhallinnan tavoitteiden ymmärtämistä, eri toimijoiden keskinäistä luottamusta ja pilaantuneisiin maa-alueisiin liittyvää asenneilmapiiriä. Riskinarviointiin liittyvän viestinnän ja vuorovaikutuksen oikea ajoitus ja selkeys on tärkeää.

Vaihtoehtoisia riskinhallintamenetelmiä voidaan vertailla kestävyysarvioinneilla. Kestävyysarvioinnin lähtökohtana on eri kunnostusmenetelmien hyötyjen ja haittojen systemaattinen vertailu. Kestävyysarviointiin on kehitetty työkaluja, menetelmiä ja malleja (mm. Sorvari & Seppälä 2010; Methodology for Understanding and Reducing a Project's Environmental Footprint 2012; Beames *et al.* 2014; Rosén *et al.* 2015). Kestävyysarvi-

ointiin kehitetyt työkalut voivat olla joko laskennallisia tai laadulliseen arviointiin perustuvia. Kvalitatiivisilla työkaluilla voidaan verrata kunnostusmenetelmiä sanallisesti tai erilaisten pisteytysmenetelmien avulla. (Diamond *et al.* 1999; U.S. Sustainable Remediation Forum 2009; Decision Framework for Incorporation of Green and Sustainable Practices into Environmental Remediation Projects 2010) Valtioneuvoston kanslian julkaiseman raportin (Pyy *et al.* 2017, s. 8–15) mukaan kestävyysarviointimenettelyt ovat etenkin kvantitatiivisten menetelmien osalta vielä kehitteillä niin Suomessa kuin muualla Euroopassa ja Yhdysvalloissa.

Kunnostushankkeen taloudellisia vaikutuksia voidaan mitata kustannus-hyötyanalyysin avulla. Pearce *et al.* (2006), Rosén *et al.* (2008), U.S. Sustainable Remediation Forum (2009) ja Perman *et al.* (2011) mukaan taloudelliset vaikutukset voivat olla välittömiä tai välillisiä. Kunnostuksesta aiheutuvia välittömiä kustannuksia ovat hankkeen suunnittelusta ja toteutuksesta aiheutuvat kustannukset. Välillisiä kustannuksia voivat aiheuttaa esimerkiksi terveystriskiin tai alueen käyttömahdollisuuksiin liittyvät seikat.

Kirjallisuudessa (Bardos *et al.* 2009; Holland *et al.* 2011; Nihtilä 2016) on todettu, että työkalut antavat harvoin suoraan vastauksia kestävimmän vaihtoehdon valintaan, mutta ne soveltuvat kunnostusmenetelmien vertailuun ja merkittävien indikaattorien tunnistamiseen. Bardos (2009) ja Cappuyns (2013) ovat todenneet, että kohteelle sopivien indikaattorien valinta on tärkeää kunnostushankkeen kestävyuden arvioimiseksi. Taulukossa 1 on esitelty kestävyuden indikaattorien osatekijät.

**Taulukko 1.** Kestävyyden indikaattorien osatekijät, muokattu lähteestä (Bardos 2009).

<b>Ympäristötekijät</b>	<b>Sosiaaliset tekijät</b>	<b>Taloudelliset tekijät</b>
Vaikutukset ilmaan	Vaikutukset ihmisten hyvinvointiin ja turvallisuuteen	Suorat kustannukset ja hyödyt
Vaikutukset maaperään	Eettisyys ja oikeudenmukaisuus	Epäsuorat kustannukset ja hyödyt
Vaikutukset veteen	Vaikutukset naapurustoon	Työllistyminen ja pääoman kasvu
Vaikutukset ekologiaan	Yhteisön osallistuminen ja tyytyväisyys	Omavaraisuus
Luonnonvarojen käyttö ja jätteiden tuotto	Yhdenmukaisuus poliittisten tavoitteiden kanssa	Elinikä ja projektin riskit
Vaikutukset maisemaan ja muu häiritsevyys	Epävarmuus ja luotettavuus	Projektin joustavuus

Tutkimus- ja kunnostusohjelman riskinhallintasuunnitelmaa tehtäessä arvioidaan kunnostuksen tarve. Tässä vaiheessa on jo suositeltavaa vertailla eri kunnostusmenetelmiä, mikäli kunnostukseen päädytään. Kunnostusmenetelmän valintaan kehitetyt työkalut tulevat päätöksentekoa, sillä niiden avulla voidaan perustella valintoja ja dokumentoida päätöksentekoprosessia. Kunnostusmenetelmien kestävyystarkastelu kannattaa tehdä vasta, kun ensin on tutkittu menetelmän tekninen toteuttamiskelpoisuus ja soveltuvuus kohteeseen. Kestävyteen vaikuttavia tekijöitä arvioidaan aina kohdekohtaisesti, sillä yleisellä tasolla ratkaisuja ei voida määrittellä. Asiantuntijatyöpajoissa todettiin, että Suomessa suurin osa kunnostuskohteista on suhteellisen pieniä ja yksinkertaisia, jolloin niihin sopisivat parhaiten yksinkertaiset kestävyysarviointien menetelmät ja työkalut (Pyy *et al.* 2017, s. 24). Useinkaan realistisia kunnostusvaihtoehtoja ei ole suurta määrää.

Kansainvälinen standardointijärjestö, International Organization for Standardization (ISO), työskentelee pilaantuneen maan kestävä kunnostuksen standardin parissa. Soil Quality – Guidance on Sustainable Remediation -ISO-standardissa määritellään kestävä kunnostukseen ja sen arviointiin liittyviä käsitteitä ja periaatteita. (ISO/PRF 18504) Standardin odotetaan tuovan linjakkuutta kestävyysarviointien tekemiseen. Lisäksi tulevaisuudessa siitä saattaa olla hyötyä toimintamallien kehittämiseen ja kestävyysarviointien tekemisen yleistymiseen.

## 4.3 Kunnostusohjelman priorisointi ja valmistelu

### 4.3.1 Vaiheiden esittely

Kohdetutkimusten ja riskinhallintasuunnitelman jälkeen tutkimusohjelman kohteet jaetaan kahteen ryhmään jatkotoimenpiteiden tarpeellisuuden perusteella. Kohteet, joissa riskinhallintatoimet ovat tarpeen, järjestetään kiireellisyysjärjestykseen. Pirkanmaan ELY-keskuksessa käydyissä ohjauskokouksissa keskusteltiin kunnostusohjelman priorisoinnin tekemisestä ja kunnostusohjelman valmistelun vaiheista. Priorisoinnissa painotetaan ihmisten terveyden, tärkeiden pohjavesialueiden ja luontoarvoiltaan merkittävien alueiden suojelua. Tavoitteena on tunnistaa kohteet, joissa haittoja on jo olemassa, mutta myös ne kohteet, joissa merkittävien haittojen ilmaantuminen tulevaisuudessa on todennäköistä. ELY-keskuksen mukaan kunnostusohjelman priorisointia varten on olemassa laskentamalli, jonka avulla kohteet asetetaan tärkeysjärjestykseen niiden kunnostamista varten.

Pirkanmaan ELY-keskuksessa käydyissä ohjauskokouksissa todettiin, että priorisoinnin jälkeen aloitetaan yhteistyöneuvottelut ja rakennussuunnittelu sekä jätetään ilmoitus pilaantuneen maaperän puhdistamisesta (PIMA-ilmoitus) ympäristöviranomaiselle. Mikäli puhdistaminen ei edellytä ympäristölupaa, pilaantuneen alueen maaperän ja pohjaveden puhdistamiseen sekä puhdistamisen yhteydessä kaivettujen maa-ainesten hyödyntämiseen kaivualueella tai poistamiseen muualla käsiteltäväksi voidaan ryhtyä tekemällä asiasta ilmoitus valtion viranomaiselle (Ympäristönsuojelulaki 2014). Lisäksi päätetään rahoitusosuudet eri osapuolten kesken sekä kunnostusten laajuus ja laatu.

### 4.3.2 Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu

Asiantuntijatyöpajoissa käytyjen keskusteluiden perusteella voidaan todeta olevan useita käytännön syitä, minkä vuoksi kunnostustoiminta perustuu pitkälti kaivamiseen: kunnostustoiminnan ja maanrakentamisen kytkeytyminen toisiinsa, kaivuhankkeen suunnittelun ja toteuttamisen yksinkertaisuus, kunnostustavoitteiden asettaminen ohjearvojen perusteella sekä aikataulujen, kustannusten ja lopputuloksen melko helppo ennakoitavuus. Massanvaihtoon ei liity rajoitteita alueen jatkokäytölle. Lisäksi menetelmätarjonnan ja -osaamisen vähäisyys sekä käytännöt koskien alueiden käytön suunnittelua ja rakentamista suosivat kaivamista verrattuna muihin riskinhallintamenetelmiin. Kaivettujen massojen loppusijoittamiseen ohjaavat muun muassa niiden jäteluonteesta aiheutuvat velvoitteet, kaatopaikkasijoittamisen suhteellisen alhainen hinta sekä epäyhtenäiset maa-ainesten käsittelyn ja hyödyntämisen vaatimukset. Lisäksi eri toimijoiden välillä koetaan olevan liian vähän yhteistyötä. (Pyy *et al.* 2017, s. 29)

Pirkanmaan jätehuollon (Tiira 2017) mukaan pilaantuneiden maa-ainesten vastaanottoa kaatopaikoille rajoitetaan ja ajoitetaan tulevaisuudessa. Käsittely- ja vastaanottomaksut

nousevat. Ympäristöluvut ovat tähän asti mahdollistaneet pilaantuneiden maa-ainesten hyödyntämisen kaatopaikkojen ylläpidossa ja käytöstä poistossa. Tulevaisuudessa tarve pilaantuneiden maa-ainesten käsittelyyn lisääntyy ja kierrätyskelpoiset maa-ainekset ohjautuvat hyötykäyttöön.

Kirjallisuusselvitysten (Sorvari 2010; Bartke 2011; Lavee *et al.* 2012) mukaan ympäristö- ja terveystarpeiden vähentämisen lisäksi on myös muita näkökulmia, jotka vaikuttavat päätöksentekoon. Tällaiset näkökulmat riippuvat paljon sidosryhmien motiiveista. Nämä liittyvät usein näkymiin ja uhkiin tulevasta maankäytöstä. Alueen omistajan näkökulmasta kiinteistön arvon nousu ja alueen käytön kasvu tuovat taloudellisia hyötyjä. Laajempaa yhteiskunnallista hyötyä saadaan lähialueiden arvon noususta ja ympäristön laadun yleisestä paranemisesta. Kunnostaminen halutaan tehdä maankäytön rajoitteiden poistamiseksi ja vastuista vapautumiseksi. Tällöin on uhkana, että kunnostetaan varmuuden vuoksi enemmän kuin mitä kohdekohtaisen riskinarvion näkökulmasta olisi tarpeen. Asiantuntijatyöpajoissa todettiin, että MATTI-rekisterin merkinnöistä näkyy, mikäli haitta-aineita on kunnostuksen jälkeen jäänyt maaperään.

Kaatopaikkasijoittamisen sijaan tutkimus- ja kunnostusohjelman tavoitteena tulisi olla kaivettujen maa-ainesten lajittelu, käsittely ja hyötykäyttö. Hyödyntämiskohteita voivat olla esimerkiksi meluvallit ja tulvapatot, liikenneväylät, kentät ja täytöt maa-alueella. Hyödyntäminen tulisi ottaa huomioon jo rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa. Mikäli hyödyntämiskohteita ei heti löydy tai maa-ainekset ovat voimakkaasti pilaantuneita, se olisi maankaatopaikan sijaan vietävä välivarastoitavaksi. Tällöin se olisi hyödynnettävissä myöhemmin sopivan kohteen löytyessä tai se voisi odottaa puhdistusmenetelmien kehittymistä tai muuta ratkaisua.

Pilaantuneet maa-ainekset toimitetaan käsittelijälle, jonka ympäristöluvassa mahdollistetaan kyseisten massojen vastaanotto. Pilaantuneet maa-ainekset tulee jakaa haitta-ainesten ja niiden pitoisuuksien sekä maa-aineksen ominaisuuksien mukaan. Asiantuntijatyöpajoissa todettiin, että tällä hetkellä on epäselvää, mitä maa-aineksille tapahtuu sen jälkeen, kun ne on vastaanotettu (Pyy *et al.* 2017, s. 41). Tämän koetaan hankaloittavan luotettavan kestävyysarvioinnin tekoa. Käsittelylaitoksilta tulisi edellyttää kestäviä käsittelymenetelmiä ja raportointia käytetyistä menetelmistä ja käsitellyistä maa-aineksista. Käsittelymenetelmän kestävyyttä tutkitaan tapauskohtaisesti niin, että valittava menetelmä on pitkällä aikavälillä kestävin ratkaisu. Kestävyyyteen voi vaikuttaa esimerkiksi menetelmän energiankulutus tai menetelmän soveltuvuus, kun otetaan huomioon puhdistettujen maa-ainesten hyötykäyttökohteen puhtausvaatimukset. Eri käsittelymenetelmiä voidaan myös yhdistää ja sitä kautta löytää paras lopputulos.

Neitseellisen maa-ainesten ottaminen vaikuttaa luonnon olosuhteisiin ja maisemakuvaan. Raportin (Maa-ainesten kestävä käyttö 2009, s. 7) mukaan soran ottamisalueilla vaikutukset kohdistuvat pohjaveteen, sillä soran ottaminen lisää pohjaveden likaantumiseriskää

ja laadun vaihtelua. Neitseellinen maa-aines tulisi pitää mahdollisimman pitkään talousjärjestelmän käytössä, mikä vähentää myös massojen kuljetuksesta aiheutuvia kasvihuonepäästöjä ja energiankulutusta sekä loppusijoitukseen päätyvän maa-aineksen määrää. Asiantuntijatyöpajoissa todettiin, että maa-aineksia, jotka ovat voimakkaasti pilaantuneita tai sekapilaantuneita, voidaan joutua kuljettamaan satojen kilometrien päähän käsittelyä tai loppusijoitusta varten. Kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti maa-ainesten saatavuus ja luonnon monimuotoisuus on turvattava myös tuleville sukupolville. Tutkimuksissa (Järvinen 2015; Niiranen 2016; Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia 2016, s. 16) on todettu, että maa-ainesten hyötykäyttö on lisääntynyt viime vuosien aikana Suomen suurimmissa kaupungeissa. Rakentamisesta peräisin olevia maa-aineksia on pyritty hyödyntämään mahdollisimman lähellä niin, että kuljetusmatka olisi mahdollisimman lyhyt tai laajoissa rakentamiskohteissa, esimerkiksi Helsingissä Kalasataman ja Jätkäsaaren alueilla (Järvinen 2015; Niiranen 2016). Tampereella Ranta-Tampellan uuden kaupunginosan yhteyteen tulevan puistoalueen vesitäyttyön on käytetty Rantatunnelin louhinnasta peräisin olevaa kiviainesta. Rantatunneli on Suomen pisin maantietunneli. (Rantatunneli – kaupungin kasvualusta) Rantatunneli ja Ranta-Tampellan kaupunginosa sijaitsevat lähellä toisiaan, joten hyötykäytettävän kiviaineksen kuljetusmatka on pysynyt lyhyenä. Ranta-Tampellan asuinalueen pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviota sekä alueen riskinhallinnan kestävyyttä on tarkasteltu luvussa 5.

Jätelaissa (2011) veloitetaan vähentämään syntyvän jätteen määrää ja edistämään sen uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Kaivetut pilaantuneet maa-ainekset luokitellaan jätelain mukaan jätteeksi, jolloin niitä käsitellään jätteitä koskevien säädösten mukaisesti. Pilaantuneen maa-aineksen käsittely ja hyödyntäminen vaativat ympäristönsuojelulain (2014) mukaisen luvan. Ympäristöministeriössä on valmisteilla niin sanottu MARA-MASA-asetus, jonka avulla laajennetaan jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maarakentamisessa. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA) uudistuu ja rakentamisen maa-ainesjätteiden hyödyntämistä koskeva asetus (MASA) on valmistelussa. Tarkoituksena on tukea kestävän kiertotalouden tavoitteita käyttäen uusioma-ainesta kohteissa neitseellisen aineksen sijaan. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 2006; Särkkä & Wähä 2016; Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maarakentamisessa laajennetaan 2017) Tavoitteena on saada MARA-MASA-asetuksen kokonaisuudistus valmiiksi vuoden 2017 loppuun mennessä (Pajukallio 2017).

Kunnostusohjelman valmistelussa tulisi painottaa innovatiivisia kunnostusratkaisuja ja kannustaa niiden kokeiluun. Tavoitteena on, että pilaantuneiden maiden riskinhallinnassa käytetään kunnostusmenetelmiä, jotka ovat kustannustehokkaita, säästävät luonnonvaroja, minimoivat haitalliset ympäristövaikutukset ja edistävät kiertotaloutta. Tutkimusten (Järvinen 2015; Niiranen 2016) perusteella *in situ* ja *on site* -menetelmiä käyttämällä voi-

daan haitallisten ympäristövaikutusten lisäksi vähentää massojen vastaanotto- ja käsittelykustannuksia. Menetelmät eivät myöskään aiheuta haittaa asutukselle. Maa-ainesten hyödyntäminen kunnostettavassa kohteessa joko sellaisenaan tai käsiteltyinä säästää luonnonvaroja, edistää kiertotaloutta ja voi tuoda merkittäviä kustannussäästöjä.

Asiantuntijatyöpajojen pohjalta voidaan todeta, että käytännön toimenpiteiden huolellinen suunnittelu ja paikallisten toimijoiden sitouttaminen päätöksentekoon edistävät kestävyttä yksittäisen kohteen tasolla. Tämä tarkoittaa muun muassa pilaantuneisuuden huomioon ottamista riittävän varhaisessa vaiheessa kaavoitusta (Pyy *et al.* 2017, s. 56). Kaavoituksella on mahdollista ohjata pilaavien toimien sijoittamista jo ennestään pilaantuneille alueille. Tällä tavalla pyritään minimoimaan kunnostuksen tarve. Jos riskiperustainen kunnostustarve koskee ainoastaan alueen tulevaa käyttöä, kestävyys voidaan ottaa huomioon ajoittamalla kunnostustoimenpiteet rakentamisen yhteyteen. Maankäytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa riskinhallinnan kestävyuden toteutumiseen. Erilaisilla käyttötarkoituksilla on erilaiset vaatimukset maaperän puhtaudelle. Pilaantuneisuus voidaan ottaa huomioon, kun suunnitellaan kunnostettavalle alueelle tulevia toimintoja. Esimerkiksi leikkipuiston tai asuinrakennuksen maaperällä on erilaiset puhtausvaatimukset kuin parkkipaikan tai varastorakennuksen maaperällä. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostus ja käyttö halutaan luontevaksi osaksi alueiden käytön suunnittelua.

## **4.4 Toteutussuunnittelu ja kunnostuksen toteutus**

### **4.4.1 Vaiheiden esittely**

Kunnostusohjelman priorisoinnin jälkeen tehdään päätös kunnostusmenetelmästä ja hankkeelle valitaan kunnostusurakoitsija. Kunnostuksen toteutukseen liittyvistä vaiheista keskusteltiin Pirkanmaan ELY-keskuksessa käydyissä ohjauskokouksissa. Kunnostushankkeen toteutuksen suunnittelijaksi ja kunnostuksen valvojaksi valitaan ympäristöasiantuntija. Ympäristöviranomaisen määrittää kunnostukselle ympäristönsuojelulain mukaiset tavoitteet sekä valvoo kunnostustoimien viranomaispäätösten mukaista toteuttamista. Urakoitsija valitaan hankintamenettelyllä, jossa kunnostusurakoitsijat kilpailutetaan ja arvioidaan ehdokkaiden ja tarjoajien soveltuvuus hankkeen toteuttamiseen. (Vepsäläinen *et al.* 2016, s. 18–20) Hankintaprosessi johtaa hankintasopimukseen. Hankintasopimuksen allekirjoittamisen jälkeen voidaan aloittaa urakan toteutus.

### **4.4.2 Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu**

Kunnostuksen tavoitteet ja toivottava lopputulos on viestittävä selkeästi urakoitsijalle. Hankkeen osapuolten, kuten viranomaisten, konsultin ja urakoitsijan, vastuunjaon on oltava selkeä sekä yhteistyön sujuvaa ja oikea-aikaista. Työn sisällöstä pitäisi keskustella sekä ennen työn aloittamista että sen aikana. Tilaajan kannattaa pyytää konsultilta ja ura-

koitsijalta toteutussuunnittelun välivaiheiden selkeää dokumentointia. Hankkeen jokaiselle vaiheelle tulisi varata riittävästi aikaa ja varautua aikataulu- ja kustannusmuutoksiin. Kunnostukselle asetettujen tavoitteiden saavuttamista tulee seurata säännöllisesti.

Hankinta pitäisi pyrkiä toteuttamaan mahdollisimman taloudellisesti ja suunnitelmallisesti ottaen huomioon sosiaaliset ja ympäristönäkökohdat. Hankintayksikkö voi lain (Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 2016) mukaan pyytää ehdokkaalta tai tarjoajalta selvitystä urakan ympäristövaikutusten hallintaa koskevista toimenpiteistä. Hankinnan tekemiseen on varattava riittävästi aikaa. Työn tilaajan kannattaa pyytää urakoitsijalta vaihtoehtoisia tarjouksia, tulevien toimenpiteiden vaikutusten arviointia sekä kustannusarviota. Tässä vaiheessa on vielä mahdollista ja suotavaakin tehdä innovatiivisia toteutusehdotuksia. Lain (Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 2016) mukaan hankintatoimintoja tehtäessä voidaan suunnitella yhteishankintojen tekemistä ja yhteistyömahdollisuuksien hyödyntämistä tarjouskilpailussa. Hankintayksikön tekemä päätös perustellaan ja hankintapäätöksestä sekä toteutuksen suunnittelusta tulee viestiä avoimesti. Työmaalla toimivien henkilöiden vastuut ja toimenkuvat tulee kirjata ylös ennen työmaan aloittamista.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (2009) on keskeinen pilaantuneen maaperän kunnostustyöhön liittyvä säädös. Siinä edellytetään muun muassa, että rakennuttaja ja toteuttaja huolehtivat työturvallisuudesta rakennushankkeen eri vaiheissa. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksen yhteydessä tulee tehdä riskinarviointi koskien riskejä työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle (Pilaantuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopas 2006).

Kunnostustyön aloittamisesta on tiedotettava viranomaisten lisäksi myös muille asianosaisille, kuten alueen asukkaille ja alueen toimijoille. Työmaalla tehtävien toimenpiteiden yhteydessä ympäristöön saattaa levitä haihtuvia yhdisteitä ja haitta-aineita sisältävää pölyä. Haihtuvista aineista voi seurata altistumista ja lisäksi niistä saattaa koitua hajuhaittoja. Ajoneuvojen ja työkoneiden aiheuttama pölyäminen on otettava huomioon kohteen esivalmistelun ja työn toteuttamisen aikana.

Mroueh *et al.* (2004, s. 62–93) toteavat, että työtavoilla on suuri merkitys syntyvien ilmapäästöjen määrään. Toiminnot suunnitellaan ja sijoitellaan mahdollisimman vähän haittaa aiheuttaviksi. Työmaan meluhaittoja voidaan minimoida esimerkiksi kuljetusten huolellisilla reittivalinnoilla. Mikäli maa-massoja välivarastoidaan, siitä ei saa aiheutua haittaa ympäristölle eikä varastointialueita saa sijoittaa ekologisesti herkille alueille.

Puhtaat ja lievästi pilaantuneet tai sekapilaantuneet maa-ainekset on pidettävä erillään kaivun, kuljetusten ja välivarastoinnin aikana. Jätelain (2011) mukaan maa-ainesten laimentaminen sekoittamalla puhtaita ja pilaantuneita maa-aineksia keskenään on kielletty. Suositeltavinta olisi sijoittaa kaivetut massat kunnostettavan kohteen tai käsittelypaikan

läheisyyteen kuljetusmatkojen minimoinnin vuoksi. Kunnostuksen aikana tehdyt maaperän laatua koskevat havainnot kannattaa dokumentoida. Tiedoista voi olla hyötyä mahdollisiin jatkotoimenpiteisiin jouduttaessa. Työmaan ympäristökuva viestii työmaan hyvästä tai huonosta hoidosta sekä rakennuttajalle ja henkilökunnalle että ulkopuolisille. Ympäristökuva sisältää työmaan järjestyksen, siisteyden ja liikennejärjestelyt.

## **4.5 Päätäminen**

### **4.5.1 Vaiheen esittely**

Kun kunnostustyöt on saatu päätökseen, urakasta tehdään urakkasopimuksen mukainen lopputarkastus ja kirjoitetaan PIMA-päätöksen edellyttämä kunnostustyön loppuraportti. Raportissa kuvataan muun muassa työn toteutus, maaperän tila kunnostuksen päätyttyä sekä kunnostuksen jälkeiset toimenpiteet. Tavoitteena on varmistaa, että työlle asetetut tavoitteet on saavutettu. (Mroueh *et al.* 2004, s. 238; Vepsäläinen 2016) Pirkanmaan ELY-keskuksen mukaan loppuraportin perustiedot tallennetaan MATTI-järjestelmään.

Kunnostuksen lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi maaperästä otettujen näytteiden haitta-ainepitoisuuksien arvoja verrataan PIMA-ilmoituksessa tai ympäristöluvassa esitettyyn hyväksyttävään tasoon. (Mroueh *et al.* 2004, s. 238; Vepsäläinen 2016) Mikäli kunnostuksella ei saavuteta ympäristöluvan tavoitetasoja, tehdään riskinarviointi (Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen loppuraportti 2010, s. 31). Jos maaperään jää merkittäviä määriä haitallisia aineita, esitetään alueen tai maa-ainesten käyttöön liittyvät rajoitteet sekä mahdolliset muut jatkotoimet (Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen loppuraportti 2010, s. 35).

### **4.5.2 Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu**

Kunnostuksen lopputuloksesta tulee viestiä avoimesti kaikille asianomaisille. Toiminnan ja viestinnän vuorovaikutteisuus ja avoimuus herättävät luottamusta. Kunnostuksen loppettamisen jälkeen alueen tilaa tulee edelleen seurata. Jälkiseurannan tarkoituksena on tarkkailla mahdollisia kunnostustyön jälkeisiä päästöjä alueen ympäristöön.

Tavoitteena on, että kunnostuksen jälkeen kohteen riskit ovat hallinnassa ja hyväksyttävällä tasolla. Lopuksi tulisi vielä arvioida kunnostustoimien sekä koko riskinhallinnan kestävyyttä.

## 5. CASE RANTA-TAMPELLA

Tässä luvussa tarkastellaan Tampereella sijaitsevan Ranta-Tampellan entisen teollisuusalueen ja nykyisen asuinalueen pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviointia sekä arvioidaan riskinhallintasuunnitelman kestävyyttä. Tarkastelu rajattiin koskemaan kohteesta tutkittuja kloorattuja liuottimia.

### 5.1 Kohteen esittely

Ranta-Tampellan alue sijaitsee noin kilometrin päässä Tampereen keskustasta pohjoiseen. Alue on osa entistä Tampellan teollisuusaluetta. Tampella Oy:n teollinen toiminta alkoi Tampereella 1840-luvulla. Alue vapautui metalliteollisuuden käytöstä 1990-luvulla. Kanta-Tampella, Tampellan teollisuusalueen eteläisempi osa, on asuinkäytössä ja Ranta-Tampella tulee olemaan sille jatkeena. (Ranta-Tampellan alueen rakentaminen 2010, s. 1; Tampereen keskustan rantojen käytön historia 1700-luvulta lähtien 2013; Haapaniemi 2014, s. 5–6) Alueen naapurusto on tiiviisti rakennettua asuinalueita. Ranta-Tampella rajautuu etelässä Tampere-Seinäjoki-rataan ja pohjoisessa sekä lännessä Näsijärveen (Kuva 8). Itä-länsisuunnassa nelikaistainen Kekkosen tie (vt. 12) on siirretty maan alle louhittuun Rantatien tunneliin, jolloin alue on vapautunut kokonaan rakentamiselle (Kuva 9). Alue on otettu asuinkäyttöön.



*Kuva 8. Ranta-Tampellan suunniteltu asuinalue (Tampereen kaupunki 2012).*



*Kuva 9. Kekkosenkatu on siirretty maan alle louhittuun tunneliin.*

Ranta-Tampellan alue on muodostunut pääasiassa täyttömassoista, jotka on ajettu Näsijärveen. Ensimmäiset täyttötööt on tietävästi tehty 1860-luvulla ja viimeisimmät on tehty 1990-luvulla. (Ranta-Tampellan alueen rakentaminen 2010, s. 2; Haapaniemi 2014, s. 5–6) Kuvassa 10 näkyy arvioitujen täyttöjen eteneminen alueella. Kuvassa on esitetty harmaalla alkuperäinen alue ja punaisella täyttöalueen rajat nykytilassa.



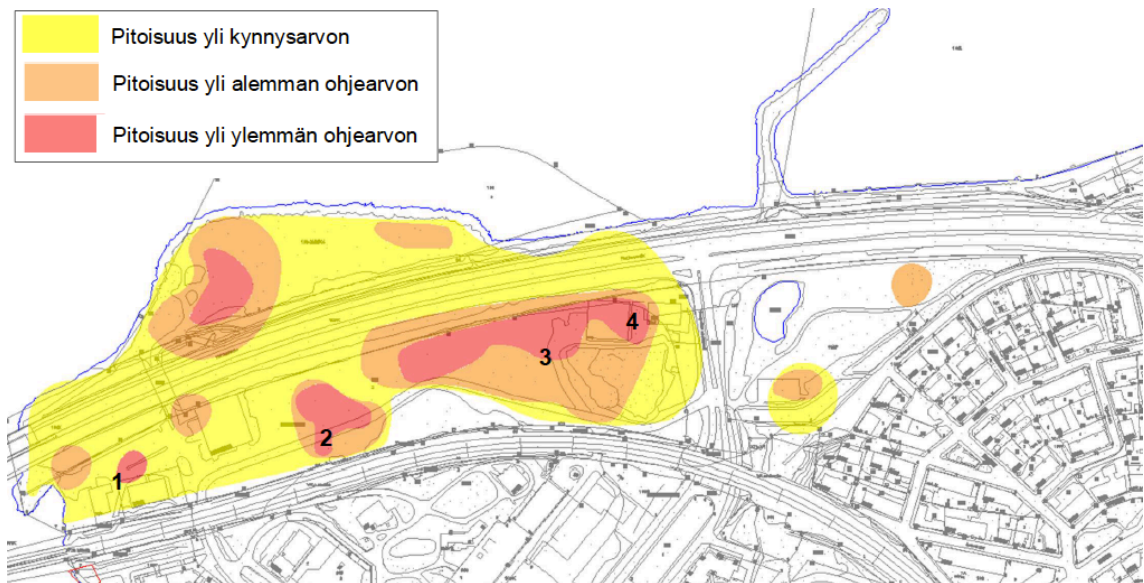
**Kuva 10.** Ranta-Tampellan täyttöhistoria (Ranta-Tampellan alueen rakentaminen 2010).

Täyttöjen ja alueen teollisen historian vuoksi alueen pohjavettä ja maaperää on tutkittu 1990-luvulta lähtien useaan kertaan. Maaperässä, pohjavedessä ja huokoskaasussa on todettu merkittäviä haitta-ainepitoisuuksia. Maankäytön muutos kohteessa on edellyttänyt pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen riskiperustaista arviointia. Lisäksi riskinarvioinnin tavoitteena on ollut määrittää hyväksyttävät kunnostuksen tavoitepitoisuudet eri haitta-aineille. (Haapaniemi 2014, s. 5) Arviointialueen rajaus näkyy kuvassa 11.



**Kuva 11.** Riskinarviointialueen rajaus (Ranta-Tampellan alueen rakentaminen 2010).

Maaperän haitta-ainepitoisuudet ovat kohonneet lähes koko Ranta-Tampellan alueella ja ne ylittävät kynnyksarvot. Tutkimukset ovat osoittaneet, että täyttömaan seassa on paljon rakennusjätettä, pääasiassa tiiltä. Täytön seassa on myös tuhkaa ja valimon kuonaa. Ranta-alueella on suuria betonilohkareita. (Ranta-Tampellan alueen rakentaminen 2010, s. 3; Haapaniemi 2014, s. 7) Maaperän nuhraantuneisuus on pääasiassa täyttöjen seurausta ja lisäksi alueella on ollut useita toimintoja, jotka ovat aiheuttaneet maaperän ja pohjaveden pilaantumista. (Haapaniemi 2014, s. 7, 9) Kuvassa 12 on esitetty arvioitu maaperän pilaantuneisuus Ranta-Tampellan alueella.



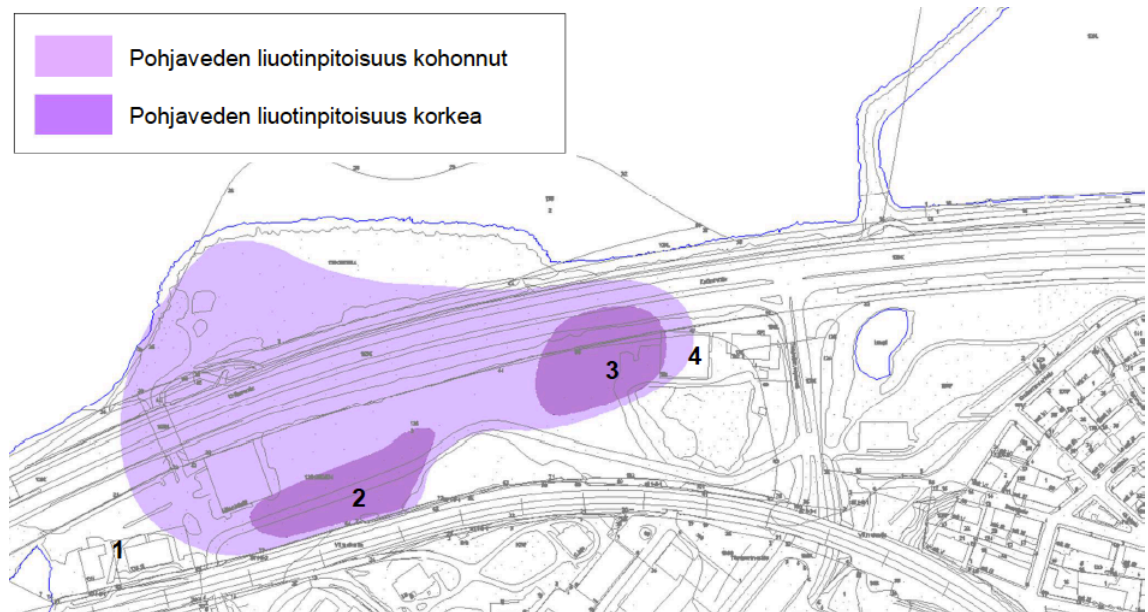
**Kuva 12.** Pilaantuneiksi epäillyt alueet Ranta-Tampellan alueella (Haapaniemi 2014).

Alueen länsiosassa on toiminut lentomoottorien koelaitos (kuvassa 12 numero 1). Siellä on muuntamo ja siellä on ollut lentobensiinisäiliö ja öljynerotuskaivo. Alueen eteläosassa on ollut öljy-, jäteöljy- ja ongelmajätevarasto (kuvassa 12 numero 2). Alueen keskiosassa on ollut nitroselluloosavarasto ja kivihiilen varastoalue (kuvassa 12 numero 3). Itäosassa on toiminut polttoainevarasto ja polttoaineen jakelupiste sekä ajoneuvohuoltamo, jossa on käsitelty palavia nesteitä (kuvassa 12 numero 4). (Haapaniemi 2014, s. 7, 9)

Tutkimusalueen maaperä on täyttömaata. Alueen kallioperä on kvartsi- ja granodioriittia sekä kosken rannalla suonigneissiiä. Voimakkaimmin pilaantuneen alueen (kuvassa 12 numerot 3 ja 4) länsiosassa maaperässä on todettu tetrakloorieteeniä pitoisuutena, joka ylittää alemman ohjearvon. (Haapaniemi 2014, s. 7, 9)

Kohde ei sijaitse vedenhankinnan kannalta merkittäväksi luokitellulla pohjavesialueella. Lähin luokiteltu pohjavesialue sijaitsee kohteesta noin kolme kilometriä länteen. Kohde ja sen ympäristö ovat kunnallisen vesihuollon piirissä. Kloorattujen liuottimien pitoisuudet ovat erityisen suuria alueilla, joista toinen sijaitsee entisen ongelmajätevaraston kohdalla (kuvassa 12 numero 2) ja toinen lähellä entistä ajoneuvohuoltamo (kuvassa 12 nu-

mero 4). Alueen itäosaa lukuun ottamatta lähes koko Ranta-Tampellan alueella kloorattujen liuottimien pitoisuudet pohjavedessä ovat kohonneet (Kuva 13). (Haapaniemi 2014, s. 11)



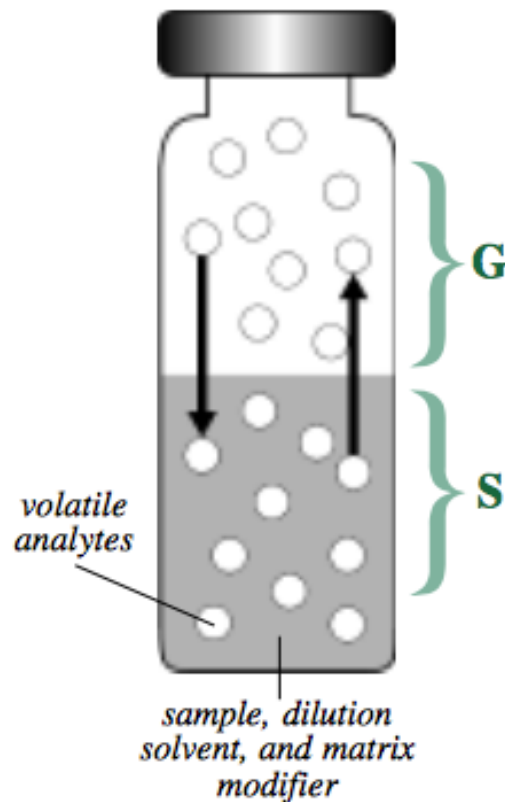
**Kuva 13.** Arvioitu pohjaveden pilaantuneisuus Ranta-Tampellan alueella (Haapaniemi 2014).

Näytteet on pääasiassa otettu pohjaveden pohjakerroksesta, mutta pohjavesinäytteet on kertaalleen otettu myös pohjaveden pintakerroksista, sillä pintakerroksen vaikutus huokosilmaan on suurempi kuin pohjakerroksen vaikutus. Tutkimusten perusteella kloorattuja liuottimia esiintyy pääasiassa pohjaveden pintakerroksissa suurempina pitoisuuksina. Huokoskaasussa on todettu paikoin suuria pitoisuuksia kloorattuja liuottimia. (Haapaniemi 2014, s. 11)

## 5.2 Tutkimusmenetelmät

Kloorattujen alifaattisten yhdisteiden tutkiminen ja toteaminen maa-aineksesta on hankalaa, sillä ne ovat herkästi haihtuvia ja haitallisia jo pieninä pitoisuuksina (Jensen & Siegrist 1990; Alén 2009, s. 70–71; Oesterreich & Siegrist 2009). Näytteet kerättiin kaasutiiviisiin pusseihin ja ne pyrittiin homogenisoimaan sekoittamalla heti kentällä näytteenoton jälkeen. Näytteet analysoitiin akkreditoidussa analyysilaboratoriossa. (Haapaniemi 2014, s. 27–29) Metanolikestävädyistä maaperänäytteistä samoin kuin pohjavesinäytteistä määriteltiin haihtuvat orgaaniset yhdisteet kaasukromatografisesti käyttäen headspace-tekniikkaa ja massaspektrometri (MS) -detektoria. (Tutkimustodistus – Liite 7.2 2011; Tutkimustodistus – Liite 7.5 2012; Tutkimustodistus – Liite 7.5 2014) Headspace-tekniikka soveltuu erinomaisesti helposti haihtuvien yhdisteiden analysointiin, kun niitä halutaan tutkia kiinteästä tai nestemäisestä näytteestä. Headspace-tekniikkaa käytetään tyypillisesti, kun halutaan tutkia esimerkiksi helposti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä

jätevedestä tai pilaantuneesta maaperästä, veren alkoholipitoisuutta tai lääkeaineiden jäännösluottimia. Sitä käytetään myös elintarviketeollisuudessa, kosmetiikkateollisuudessa ja monomeerien teollisessa analysoinnissa. Biologiset näytteet koostuvat monesti suuresta määrästä erilaisia yhdisteitä, joiden moolimassat, polaarisuudet ja haihtuvuudet eroavat toisistaan. Headspace-tekniikkaa pidetään nopeana, siistinä ja edullisena menetelmänä helposti haihtuvien yhdisteiden analysointiin biologisista näytteistä. Näyte laitetään pieneen umpinaiseen kaasutiiviiseen näytepulloon, jossa helposti haihtuvat komponentit voidaan erottaa haihtumattomista yhdisteistä (Kuva 14). Helposti haihtuvat komponentit diffundoituvat kaasufaasiin (headspace), kunnes saavutetaan dynaaminen tasapainotilanne kuvan 14 nuolten esittämällä tavalla. Näyte erotetaan kaasufaasista ja injektoidaan kaasukromatografiin analysoitavaksi. (A Technical Guide for Static Headspace Analysis Using GC 2000)



**Kuva 14.** Headspace-näytepullon faasit, jossa S on näytefaasi ja G on kaasufaasi (A Technical Guide for Static Headspace Analysis Using GC 2000).

Nopeus, jolla helposti haihtuvat yhdisteet erottuvat näytteestä kaasufaasiin sekä tasapainokonsentraation saavuttaminen riippuvat useasta parametrilla. Sekoittaminen ja lämpötilan nostaminen edesauttavat helposti haihtuvien yhdisteiden siirtymistä kaasufaasiin. Näytteen lämpötilan säätäminen muuttaa analyytin liukoisuutta, mitä voidaan käyttää apuna tasapainon saavuttamiseen. Lämmityksen aikainen näytepullon sekoittaminen tai ravistelu edesauttaa tasapainon saavuttamista nopeammin, kun neste-kaasurajapinta kas-

vaa eli haihtumispinta-ala kasvaa. (A Technical Guide for Static Headspace Analysis Using GC 2000)

Huokoskaasunäytteet otettiin Tenax® TA Adsorbent Resin -adsorptioputkeen pumpun avulla. Näytteet analysoitiin käyttäen Analytical Thermal Desorption - Gas Chromatography / Mass Spectrometer (ATD-GC/MSD) -menetelmää (Tutkimustodistus – Liite 7.6 2014). Tenax® TA on huokoinen polymeeriharts, jonka monomeeri on 2,6-difenyleenioksidi. Se on suunniteltu erityisesti helposti haihtuvien ja erittäin helposti haihtuvien yhdisteiden keräämiseen ilmasta. Se sopii myös nestemäisestä tai kiinteästä näytteestä puhdistetuille helposti tai erittäin helposti haihtuville yhdisteille. (Tenax® TA Adsorbent Resin 2017) Maaperästä saatuja helposti haihtuvia yhdisteitä on tutkittu menestyksellisesti ATD-GC/MS-menetelmän avulla (Rodríguez-Navas 2012). Se on menetelmä, joka erottaa orgaanisia seoksia ja tunnistaa eri komponenttien konsentraatiot. Näyte on tyyppillisesti adsorboitunut lasi- tai metalliputken sisälle. Putkea lämmitetään, jotta näyte saadaan kaasufaasiin. Näyte injektoidaan kaasukromatografiin analysointia varten. (ATD-GC-MS 2017)

### 5.3 Klooratut alifaattiset yhdisteet

Kohteessa on todettu merkittäviä pitoisuuksia kloorattuja liuottimia pohjavedessä ja huokoskaasussa. Kohteessa todettuja kloorattuja alifaattisia yhdisteitä ovat kloorieteeni, dikloorieteeni, trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni. (Haapaniemi 2014, s. 15–16)

Vettä tiheämpien kloorattujen liuottimien joutuessa maaperään ne kulkeutuvat maaperässä alaspäin ja pidättäytyvät jäännösfaasiksi maaperän huokosiin. Suuret päästöt muodostavat oman faasin (dense non-aqueous phase liquid, DNAPL), joka kulkeutuu vettä tiheämpänä pohjaveden alle, kunnes vastaan tulee tiivis maakerros tai kallion pinta, jota se ei läpäise. (Ground Water Issue – Dense Non-Aqueous Phase Liquids 1991, s. 2–7; Reynolds & Kueper 2002) DNAPL-pluumi liukenee hitaasti veteen pilaten pohjavettä todennäköisesti useiden vuosikymmenten ajan (Chambon *et al.* 2010; Kouznetsova 2010; Dearden *et al.* 2013). DNAPL leviää erillisfaasina läpäisemättömän kerroksen pinnalla sekä pohjaveteen liuenneena. Erillisfaasina esiintyvää DNAPL-päästöä on vaikea jäljittää. (Ground Water Issue – Dense Non-Aqueous Phase Liquids 1991, s. 2–7; Hunkeler *et al.* 2011) Klooratuilla liuottimilla on tutkittu olevan karsinogeenisia ja mutageenisia vaikutuksia (Yeh & Kastenber 1991). Ranta-Tampellan alueella kloorattuja liuottimia on päässyt maaperään suurina päästöinä, jotka esiintyvät omana faasinaan pohjaveden alla. Vain pieni osuus klooratuista liuottimista on huokoskaasuna tai veteen liuenneena. (Haapaniemi 2014)

Suuret pitoisuudet ja sedimenttien tarjoama luonnollinen puskurointi vaikuttavat kloorattujen eteenien biologiseen hajoamiseen (Kouznetsova 2010). Kun klooratun eteenin

kloorisubstituenttien määrä vähenee, kloorin irtoaminen vaikeutuu. Tarvitaan voimakkaasti pelkistävät olosuhteet, jotta kloorin irtoaminen jatkuisi (Hunkeler *et al.* 2011).

### 5.3.1 Kloorieteeni

Kloorieteeni (vinyylikloridi, VC) on väritön ja helposti nesteytyvä kaasu, jolla on makea eetterimäinen haju. Aine on väritöntä nestettä -14 °C:n lämpötiloissa. Sen liukoisuus veteen on heikko, mutta se liukenee hyvin orgaanisiin liuottimiin. Taulukossa 2 on esitetty VC:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia. VC on erittäin helposti syttyvä kaasu. Aineen palamis- ja hajoamistuotteita ovat hiilidioksidi, hiilimonoksidi, kloorivety ja fosgeeni. VC on myrkyllistä ja se luokitellaan syöpävaaralliseksi. (Alén 2009, s. 70) Se on hyvin lievästi myrkyllistä vesieliöille ja sen ei ole todettu kertyvän ravintoketjuun. VC on korkeammin kloorattujen alifaattisten yhdisteiden hajoamistuote. (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: vinyylikloridi 2015)

**Taulukko 2.** VC:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia (Kansainväliset kemikaalikortit: vinyylikloridi 2000; Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: vinyylikloridi 2015).

Molekyylikaava	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	
CAS-numero	75-01-4	
Rakennekaava	H <sub>2</sub> C=CHCl	
Moolimassa	62,5	g/mol
Tiheys	0,91	g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
Kaasun tiheys	2,16	g/cm <sup>3</sup>
Sulamispiste	-154	°C
Kiehumispiste	-14,0	°C
Höyrynpaine	333	kPa (20 °C)
Liukoisuus	1,10	g/l
Jakautumiskerroin log Pow (n-oktanoli/vesi)	1,36	
Henryn lain vakio	1,20	(mol/l)/atm (0 °C)

VC:t ovat erittäin helposti haihtuvia. Ilmassa aine hajoaa hydroksyyli-radikaalien vaikutuksesta ja sen määrä puoliintuu noin kahdessa vuorokaudessa. Ilmasta se voi huuhtoutua sateen mukana maahan. Maahan joutunut VC haihtuu nopeasti, mutta haihtumaton VC on maaperässä helposti kulkeutuvaa ja se voi kulkeutua pohjaveteen. Maaperässä se on kohtalaisen hitaasti tai hitaasti hajoavaa. Sen biologisen hajoamisen puoliintumisajaksi maaperässä on aerobisissa olosuhteissa mitattu kuukaudesta puoleen vuoteen. VC haihtuu helposti pintavedestä ilmaan. Sen biologisen hajoamisen puoliintumisajaksi vedessä on mitattu aerobisissa olosuhteissa kuukaudesta puoleen vuoteen ja anaerobisissa olosuhteissa parista kuukaudesta useisiin vuosiin. (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: vinyylikloridi 2015)

### 5.3.2 Dikloorieteeni

Dikloorieteenit (DCE) ovat 1,1-DCE, *cis*-1,2-DCE ja *trans*-1,2-DCE (Bradley 2000). Kohteessa on todettu pääasiassa *cis*-1,2-DCE:tä (Haapaniemi 2014, s. 15). Eri isomeerit ovat keskenään samankaltaisia ominaisuuksiltaan ja ympäristövaikutuksiltaan (Alén 2009, s. 70). Taulukossa 3 on esitetty 1,2-DCE:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia.

**Taulukko 3.** 1,2-DCE:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia (*Physical Constants of Organic Compounds 2009, s. 3-154; Alén 2009, s. 70; Cis-1,2-Dichloroethene 2017*).

Molekyylikaava	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>		
CAS-numero	156-59-2	<i>cis</i> -isomeeri	
	156-60-5	<i>trans</i> -isomeeri	
Rakennekaava	ClHC=CHCl		
Moolimassa	96,9	g/mol	
Tiheys	1,26	g/cm <sup>3</sup> (25 °C)	<i>cis</i> -isomeeri
	1,24	g/cm <sup>3</sup> (25 °C)	<i>trans</i> -isomeeri
Kaasun tiheys	3,34	g/cm <sup>3</sup>	
Sulamispiste	-80,5	°C	<i>cis</i> -isomeeri
	-50,0	°C	<i>trans</i> -isomeeri
Kiehumispiste	60,3	°C	<i>cis</i> -isomeeri
	47,5	°C	<i>trans</i> -isomeeri
Höyrynpaine	27,0	kPa (25 °C)	<i>cis</i> -isomeeri
	44,0	kPa (25 °C)	<i>trans</i> -isomeeri
Jakautumiskerroin log Pow (n-oktanol/vesi)	1,86		<i>cis</i> -isomeeri
	2,09		<i>trans</i> -isomeeri

DCE on väritön neste, jolla on makea eetterimäinen haju. DCE on helposti haihtuvaa. Se liukenee orgaanisiin liuottimiin, mutta ei veteen. DCE haihtuu ja liukenee helposti maaperästä eikä pidäty hyvin maa-ainekseen. 1,2-DCE on biologisesti huonosti hajoavaa. Se on helposti syttyvää, luokiteltu haitalliseksi vesieliöille ja terveydelle haitalliseksi hengitettynä. 1,1-DCE on erittäin helposti syttyvää ja sen höyryt ovat myrkyllisiä. (Alén 2009, s. 70) DCE:tä muodostuu korkeammin kloorattujen eteenien biologisen hajoamisen seurauksena.

### 5.3.3 Trikloorieteeni

Trikloorieteeni (TCE) on väritön, kirkas neste, jolla on kloroformin kaltainen haju. Ilmaan joutunut TCE hajoaa melko nopeasti mm. fosgeeniksi, diklooriasetyylikloridiksi ja kloroformiksi. Aine voi myös hapettua dikloorietikkahapoksi. TCE ja sen hajoamistuotteet voivat tulla sateen mukana maahan. (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: trikloorietyleeni 2014) TCE sitoutuu heikosti maaperään ja voi kulkeutua kaasumaisena

huokoskaasussa tai veteen liuenneena. Aine on maaperän laadusta riippuen helposti tai kohtalaisesti kulkeutuvaa, joten sen joutuminen pohjaveteen on mahdollista. (Alén 2009, s. 71; Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: trikloorietyleeni 2014) Veteen joutunut TCE haihtuu nopeasti pintavedestä, mutta jos ainetta joutuu veteen suuria määriä, veteen liukenematon osa painuu pohjaan vettä raskaampana. Huonon vesiliukoisuuden vuoksi se muodostaa helposti oman faasin, DNAPL-pluumin. (Raynolds & Kueper 2002) Taulukossa 4 on esitetty TCE:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia.

**Taulukko 4.** TCE:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: trikloorietyleeni 2014; Alén 2009, s. 71).

Molekyylikaava	$C_2HCl_3$	
CAS-numero	79-01-6	
Rakennekaava	$ClHC=CCl_2$	
Moolimassa	131	g/mol
Tiheys	1,50	$g/cm^3$ (20 °C)
Kaasun tiheys	4,50	$g/cm^3$
Sulamispiste	-85,0	°C
Kiehumispiste	87,0	°C
Höyrynpaine	8,60	kPa (20 °C)
Liukoisuus	1,10	g/l
Jakautumiskerroin log Pow (n-oktanoli/vesi)	2,28	
Henryn lain vakio	0,01	(mol/l)/atm (0 °C)

TCE:n biologinen hajoaminen maaperässä ja vesistöissä on sekä aerobisissa että anaerobisissa olosuhteissa hidasta (Damgaard 2013). Sen puoliintumisajaksi maaperässä on arvioitu olevan puolesta vuodesta vuoteen. Hajoaminen kuitenkin nopeutuu mikrobien sopeuduttua aineen hajoamiseen (Kouznetsova 2010; Damgaard 2013; Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: trikloorietyleeni 2014).

TCE luokitellaan myrkylliseksi ja todennäköisesti syöpää aiheuttavaksi. Se ärsyttää silmiä ja ihoa ja sen höyryt voivat aiheuttaa keskushermosto-oireita. TCE on vesiympäristölle haitallinen. Aine ei kerry ravintoketjuun. (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: trikloorietyleeni 2014)

### 5.3.4 Tetrakloorieteeni

Tetrakloorieteeni (perkloorieteeni, PCE) on väritön kirkas neste, jolla on miesto kloroformin kaltainen haju (Alén 2009, s. 71). Ilmaan joutuessaan PCE hajoaa hydroksyyli- ja diklooridien vaikutuksesta. Sen puoliintumisaika ilmassa on noin kolme kuukautta ja hajoamistuotteita ovat muun muassa fosgeeni, triklooriasetyylikloridi ja hiilitetrakloridi. PCE ja sen hajoamistuotteet voivat tulla sateen mukana maahan. PCE:n puoliintumisaika

maaperässä on puolesta vuodesta vuoteen. (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: tetrakloorieteeni 2016)

Maaperässä PCE voi haihtua huokosilmaan tai kulkeutua pohjaveteen. Maaperän laadusta riippuen PCE on helposti tai kohtalaisesti kulkeutuvaa. Pohjavedessä PCE liikkuu helposti veden mukana, mutta se sitoutuu maaperään hieman paremmin kuin TCE. (Raynolds & Kueper 2002; Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: tetrakloorieteeni 2016) PCE:n muodostaessa oman liukenemattoman faasin se kulkeutuu maaperässä alaspäin ja pidättyy jäännösfaasiksi maaperän huokosiin. Suuret päästöt voivat aiheuttaa kemikaalifaasin kulkeutumisen pohjaveden alle DNAPL-pluumiksi. (Raynolds & Kueper 2002) PCE hajoaa maaperässä hitaasti ja ainoastaan anaerobisissa olosuhteissa (Damgaard 2013; David 2015). Hajoamisessa muodostuva TCE, DCE, VC ja lopulta myrkytön eteeni voivat kulkeutua pohjaveteen (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: tetrakloorieteeni 2016). Taulukossa 5 on esitetty PCE:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia.

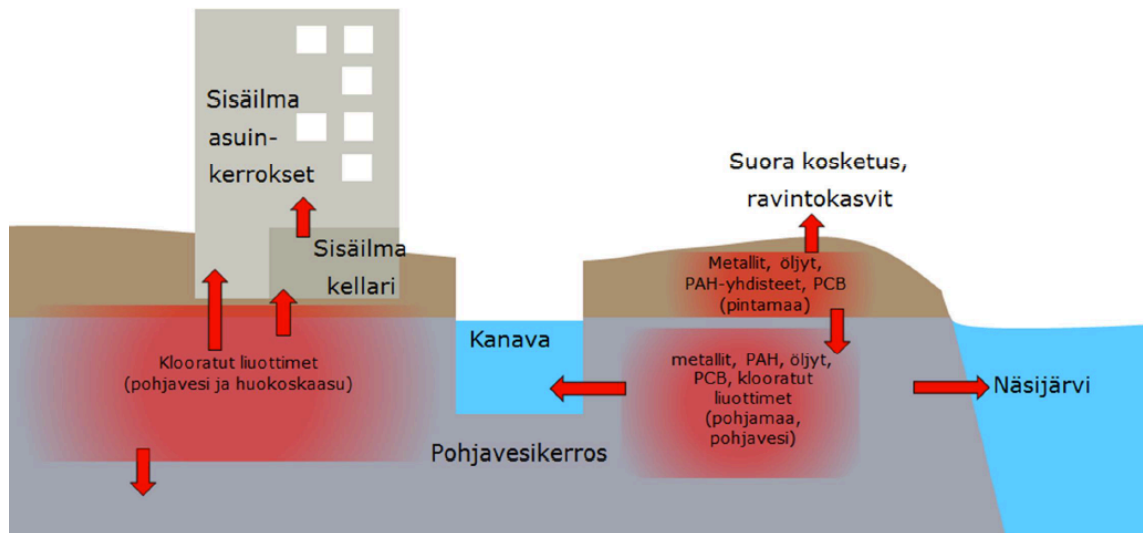
**Taulukko 5.** PCE:n fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: tetrakloorieteeni 2016; Alén 2009, s. 71).

Molekyylikaava	$C_2Cl_4$	
CAS-numero	127-18-4	
Rakennekaava	$Cl_2C=CCl_2$	
Moolimassa	166	g/mol
Tiheys	1,60	$g/cm^3$ (20 °C)
Kaasun tiheys	5,80	$g/cm^3$
Sulamispiste	-22,0	°C
Kiehumispiste	121	°C
Höyrynpaine	1,90	kPa (20 °C)
Liukoisuus	0,15	g/l
Jakautumiskerroin log Pow (n-oktanoli/vesi)	2,53	
Henryn lain vakio	0,02	(mol/l)/atm (0 °C)

PCE:n epäillään aiheuttavan syöpää. Pitkäaikaisessa altistumisessa voi ilmetä vaikutuksia keskushermostoon sekä munuaisten ja maksan toimintaan (Alén 2009, s. 71; Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: tetrakloorieteeni 2016). PCE on myrkyllistä vesieliöille. Sen ei ole todettu kertyvän ravintoketjuun. (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: tetrakloorieteeni 2016)

## 5.4 Kloorattujen liuottimien kulkeutuminen ja altistumisreitit

Merkittävimmäksi altistumistavaksi kohteessa kloorattujen liuottimien osalta arvioidaan haitta-ainetta sisältävän sisäilman hengittäminen (Haapaniemi 2014, s. 16). Kuvassa 15 on esitetty kohteen haitta-aineiden käsitteellinen malli.



*Kuva 15. Kohteen käsitteellinen malli (Haapaniemi 2014, s. 16).*

Kohteen alueella pohjavesi on noin kolmen metrin syvyydellä maanpinnasta. Täyttö ulottuu paksuimmillaan noin 25 metrin syvyyteen maanpinnasta. Haitta-aineita sisältäviä maa-aineksia ja jätteitä oletetaan olevan koko täytössä. Haitta-aineita on veden kyllästävässä kerroksessa, joten niitä kulkeutuu myös pohjaveteen. Tutkimusten perusteella pohjaveteen on kulkeutunut kloorattuja liuottimia. Pohjavesi on yhteydessä Näsijärveen ja todennäköisesti Näsijärven pinnankorkeuksien mukaan virtaussuunta vaihtelee Näsijärvestä pohjavedeksi ja takaisin. (Haapaniemi 2014, s. 16–17)

Kanava rakennetaan siten, että maa-aines ei ole suoraan yhteydessä veteen, joten kanavan veteen ja edelleen Näsijärveen ei kulkeudu lopputilanteessa merkittävästi haitta-aineita. Arvioidaan, että rakentamisen jälkeen haitta-aineiden kulkeutumista pohjavedestä Näsijärveen tapahtuu nykyistä vähemmän. Alue päällystetään, joten sadannasta muodostuvan pohjaveden määrä pienenee ja haitta-aineita huuhtoutuu vähemmän maaperästä pohjaveteen. Lisäksi alueelle tehdään lisätäyttöjä ja rantamuuri, jotka osaltaan vähentävät pohjaveden haitta-aineiden kulkeutumista Näsijärveen. Pohjavedestä Näsijärveen kulkeutuvien haitta-aineiden pitoisuudet laimenevat suureen vesimassaan. Rakentamisen jälkeisessä tilanteessa haitta-aineiden kulkeutumista pohjavedestä Näsijärveen ei pidetä vaaratekijänä vesiympäristölle. Haitta-aineet eivät merkittävässä määrin haihdu pohjavedestä ulkoilmaan. Jos niin kuitenkin käy, on laimenneminen niin tehokasta, etteivät pitoisuudet nouse haitalliselle tasolle. (Haapaniemi 2014, s. 17)

Alueen rakennukset tulevat sijaitsemaan osittain maan alla. Helposti haihtuvat klooratut alifaattiset yhdisteet saattavat kulkeutua pohjamaasta tai pohjavedestä rakennusten sisäilmaan. Pohjaveden pinta on lähellä rakennusten pohjia, jolloin kulkeutuminen voi olla merkittävää. Huokoskaasussa on todettu suuria kloorattujen liuottimien pitoisuuksia. (Haapaniemi 2014, s. 17–18) Erittäin helposti haihtuvia VC:tä ja DCE:tä muodostuu korkeammin kloorattujen TCE:n ja PCE:n hajotessa (Alén 2009, s. 70–71; Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: vinyylidikloridi 2015). Tällöin myös kulkeutumisen riski kasvaa.

Orgaanisten haitta-aineiden kulkeutuminen maaperästä tai pohjavedestä vesijohtoveteen diffuusion avulla putkimateriaalin läpi on mahdollista, mikäli vesijohto kulkee voimakkaasti pilaantuneessa maaperässä tai pohjavedessä (Haapaniemi 2014, s. 18). Paine vesijohtossa vähentää kulkeutumista (Mao *et al.* 2010).

Maaperästä ja pohjavedestä todetut haihtuvat klooratut yhdisteet voivat rakennusten alle jäädessään aiheuttaa terveysriskejä alueen asukkaille ja työntekijöille. Pohjavedestä on todettu erityisesti VC:tä. Tulevaisuudessa sen pitoisuudet pohjavedessä ja huokoskaasussa voivat kasvaa DCE:n, TCE:n ja PCE:n hajotessa. VC on helpommin kulkeutuvaa ja myrkyllisempää kuin korkeammin klooratut alifaattiset hiilivedyt. Lisäksi se on syöpävaarallista. Mikäli haitta-aineet kulkeutuvat putkimateriaalin läpi maaperästä juomaveteen, ruoansulatuksen kautta altistuminen on mahdollista. Lasten altistuminen haitta-aineille maansyönnin kautta voi olla merkittävää. Pintamaan päällä on nurmikkoa, asfalttia tai kivetystä, jolloin mahdollisuus maaperän tahattomalle altistumiselle vähenee. Maaperän ja pohjaveden orgaanisten haitta-aineiden ollessa kosketuksissa rakenteisiin ne voivat kulkeutua rakenteissa kapillaarisesti ja mahdollisesti liuottaa materiaaleja. Pitoisuudet Näsijärvessä oletetaan sen verran pieniksi, että ihoaltistumista veden kautta pidetään merkityksättömänä. (Haapaniemi 2014, s. 18–21)

## 5.5 Riskinhallintasuunnitelman kestävyystarkastelu

Tässä esitellään kohteeseen tehty riskinhallintasuunnitelma sekä diplomityöntekijän tekemä riskinhallintasuunnitelman kestävyystarkastelu. Kestävyystarkastelun yhteydessä esitellään kirjallisuusselvitysten perusteella tehtyjä huomioita kestävyydestä. Lopuksi on tehty yhteenveto kohteessa toteutuneista kestävyysnäkökohdista soveltaen alaluvussa 4.2.2 esiteltyjä kestävyiden indikaattorien osatekijöitä.

Haitta-aineiden kulkeutumista rakennusten sisäilmaan on arvioitu laskennallisesti. Laskennassa on käytetty SOILIRISK 3.0 -laskentaohjelmaa. (Haapaniemi 2014, s. 18) Laskennan perusteella riskinarvioinnissa (Haapaniemi 2014, s. 18) on todettu, että mikäli kunnostustoimenpiteitä ei tehdä, haitta-aineita voi nykyisillä pitoisuuksilla kulkeutua rakennusten sisäilmaan merkittävässä määrin. Erityisesti VC:tä voi kulkeutua rakennusten sisäilmaan merkittävinä pitoisuuksina. Pohjaveden VC:n aiheuttama terveysriski on laskennallisen riskinarvion mukaan 374 % suurimmasta sallitusta riskistä. Haapaniemen

mukaan (2014, s. 20) terveyshaittojen poistamiseksi rakennusten alapuolinen maaperä tulee kunnostaa pohjaveden pintaan asti haihtuvista yhdisteistä sekä alueen pohjavesi tulee kunnostaa riskittömälle tasolle. Pohjavedessä on paikoitellen todettu korkeita kloorattujen liuottimien pitoisuuksia ja myös pohjavedelle on määritetty kunnostuksen tavoitetasot laskennallisesti. Kunnostustavoitteet on määrätty koko alueelle eikä vain rakennusten alapuolisille alueille, sillä haitta-ainefaasit voivat kulkeutua eri alueille pohjaveden virtauksen mukana. Maaperän ja pohjaveden kunnostamisen lisäksi alueella tarvitaan maankäytön rajoitteita ja rakenteellisia ratkaisuja (Haapaniemi 2014, s. 21, 23, 26).

Riittävä kunnostustaso kohteessa on arvioitu riskiperustaisesti. Kohdistamalla riskinhallintatoimenpiteet kohteessa esiintyviin todellisiin riskeihin vältetään turhilta kunnostuksilta. Tämä tukee kestäväyyden toteutumista. Toisaalta riskinarvioinnin pohjana olevat laskentakaavat sisältävät varmuuskertoimia eikä niiden avulla välttämättä saada hyvää arviota kohteen kemikaalien aiheuttamista riskeistä. Laskennan lisäksi arvioijan tulisi riskinarvion tekemisessä käyttää omaa harkintaa. Edustavien näytteiden saaminen kohteesta vähentää epävarmuustekijöitä. Kohteesta kerätyt näytteet on pyritty homogenisoimaan sekoittamalla heti näytteenoton jälkeen. Reinikaisen (2017) mukaan näytteen sekoittaminen ei homogenisoi heterogeenista matriisia, vaan saattaa jopa lisätä lajittumista.

Arvion (Haapaniemi 2014, s. 21, 24) mukaan pohjaveden pinnan yläpuolisten maa-ainesten ja pohjaveden kunnostaminen vähentävät haitta-aineiden aiheuttamaa rakenteiden vaurioitumisriskiä. Mahdolliset riskit rakenteille otetaan huomioon suunnitteluvaiheessa ja oikeilla materiaalivalinnoilla (Haapaniemi 2014, s. 21). Putkilinjojen alueiden kunnostamisen lisäksi putkimateriaaleiksi tulee valita mahdollisimman diffuusiotiivis materiaali, sillä pohjavesi voi massanvaihdosta huolimatta edelleen kuljettaa haitta-aineita kosketuksiin vesijohdon kanssa. Riskinarvion perusteella (Haapaniemi 2014, s. 21) pohjaveden pinnan alapuolelle ulottuvilla kaivutöillä olisi haitallisia vaikutuksia vesiympäristölle ja lisäksi hanke tulisi liian kalliiksi.

Huolellinen suunnittelu, oikeat materiaalivalinnat ja lisäksi kohteessa tehtävät tekniset ratkaisut tukevat kestäväyyden tavoitteita riskien hallinnassa. Pohjaveden kuljettamien haitta-aineiden aiheuttamat terveysriskit hallitaan valitsemalla kohteeseen diffuusiotiivis putkimateriaali. Kohteen kunnostuksen tavoitepitoisuuksia asetettaessa on otettu huomioon terveydelliset ja ympäristövaikutukset. Terveys-, ympäristö- ja taloudelliset näkökannat on pyritty saamaan tasapainoon.

Haapaniemen (2014, s. 21) mukaan haihtuvien yhdisteiden osalta maa-aineksille on määritetty tavoitepitoisuudet sisäilmariskin ja maan syönnin perusteella. Kohteen maaperästä todetulle TCE:lle on laskettu maaperän tavoitepitoisuus terveysriskien perusteella, kun altistusreitteinä on maan syönti. VC:tä, DCE:tä ja TCE:tä on todettu ainoastaan kohteen pohjavedessä. Kunnostustavoite on laskettu leikkipaikan ja päiväkodin sekä putkilinjojen alueille. Riskit on laskettu lapselle, ja altistumisajaksi on laskennassa otettu huomioon kuusi vuotta. Altistuminen maaperän haitta-aineille maan syönnin kautta katsotaan Haapaniemen (2014, s. 28) mukaan merkittäväksi.

Raportista (Haapaniemi 2014, s. 28) ilmenee, että pintamaan päällä on nurmikko, asfaltti tai kivetys eikä maan pölyämistä siten pääse tapahtumaan. Myös maan syönti on erittäin epätodennäköistä alueella, jossa on päällystys. Leikkipaikkojen maaperän tavoitepitoisuuksien asettamisessa on käytetty varovaisuutta, jotta maan syömisestä ei aiheutuisi terveyshaittaa lapsille. Alueiden pinnoitteiden ja nurmetusten avulla voidaan vähentää riskiä maaperän tahattomalle altistumiselle.

Riskinhallinnan (Haapaniemi 2014, s. 24) vuoksi alueen maaperään ei saa istuttaa ravintokasveja, sillä kasvien syönnin kautta voi tapahtua altistumista haitta-aineille. Kasvilajien käyttö ravintokasvien viljelyyn on kuitenkin sallittua, koska tällöin kasvien juuret eivät ole kosketuksissa syvempiin maakerroksiin. Alueelle ei myöskään saa istuttaa puita tai pensaita, jotka tekevät syötäviä hedelmiä, sillä niiden juuret saattavat ulottua pilaantuneeseen maakerrokseen. (Haapaniemi 2014, s. 19, 24)

Riskiperustaisen kunnostuksen lopputuloksena alueen maaperään jää edelleen kohonneita haitta-ainepitoisuuksia. Kuten aikaisemmin todettiin, riskiperustainen kunnostus tukee kestävyden tavoitteita. Vaikka ravintokasvien istuttaminen maaperään on kiellettyä, se ei silti vähennä alueen viihtyisyyttä, sillä viihtyisyys voidaan järjestää muilla keinoin.

Haapaniemen (2014, s. 20) mukaan alueen maaperässä tai pohjavedessä ei ole havaittu haihtuvia yhdisteitä sellaisina pitoisuuksina, että ne aiheuttaisivat terveysriskejä ulkoilman hengityksen kautta. Haitta-aineiden kulkeutumista ulkoilmaan haihtumisen kautta ei pidetä merkittävänä.

Alueen ekologinen toiminta tulee olemaan nykyistä vähäisempää tiiviin rakentamisen ja maaperän päällystysten vuoksi. Rakentamattoman ja päällystämättömän alueen osuus koko alueen pinta-alasta on pieni. Maaperäeliöt ja alueella kasvavat kasvit voisivat altistua haitta-aineille. Samoin kuin kasveja ja esimerkiksi matoja syövät linnut ja pikkunisäkkäät. Riskinarvion (Haapaniemi 2014, s. 20) perusteella altistusta ei kuitenkaan pidetä merkittävänä eikä kohteessa katsota olevan kunnostustarvetta ekologisin perustein. Pirkanmaan ELY-keskuksen päätöksessä (Päätös pilaantuneen alueen puhdistamisesta 2014) kuitenkin on todettu, että kiinteistöjen alueella olevat pilaantuneet maat pitää poistaa sekä terveydellisistä että ekologisista syistä. Maa-ainekset on poistettava eri haitta-aineiden osalta vähintään alemman ohjearvon ylittäviltä osin yhden metrin syvyyteen, mikäli riskinarvioinnissa ei ole esitetty tiukempaa kunnostustarvetta. Alempi ohjearvo on ohjeellinen arvo, jota voidaan käyttää pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa, mutta se ei ole sitova raja-arvo. Kohdekohtaisen riskinarvioinnin perusteella voidaan osoittaa, että maaperä ei ole pilaantunut. Kynnys- ja ohjearvojen käyttö kunnostustavoitteina tulee perustella eikä niiden soveltamista tule automaattisesti edellyttää, ellei riskinarviointi tai kestävyysarviointi sitä erikseen tue.

Kohteen kunnostuksen tavoitepitoisuudet on määritelty terveysriskien perusteella. Tavoitepitoisuuksien asettamisessa on kuitenkin otettu huomioon myös ekologiset vaikutukset ja mikäli laskennallinen terveysperusteinen tavoitetaso on ollut hyvin korkea verrattuna

ekologiseen tavoitetasoon, on terveysperustaista tavoitepitoisuutta voitu madaltaa. Tällainen toiminta tukee kestävyuden toteutumista.

Kunnostus suunniteltiin aloitettavaksi pohjaveden *in situ* -kunnostuksella. Kunnostusmenetelmäksi valittiin biologinen puhdistus. Samalla käsittelyllä todettiin saavutettavan sekä pohjaveden että maaperän puhdistuminen. Menetelmän todettiin toimivan kohteen maaperästä löytyneille haitta-aineille. Todettiin, että kohteeseen voidaan soveltaa myös kemiallista hapetusta biologisten puhdistusmenetelmien rinnalla tai niiden vaihtoehtona. (Päätös pilaantuneen alueen puhdistamisesta 2014) Kunnostus- ja riskinhallintakeinot kuitenkin muuttuivat kunnostuksen aikana, sillä *in situ* -menetelmän käytöllä ei saavutettu tavoitteita kohteessa. Pohjaveden kunnostuksesta luovuttiin. Pilaantuneen maan kunnostusmenetelmäksi valittiin kohteen tulevan käytön ja haitta-aineiden ominaisuuksien perusteella massanvaihto. (Pirkanmaan ELY-keskuksen sisäinen tiedonanto) Massanvaihdolla kunnostettavat pilaantuneet maa-ainekset on päätetty toimittaa ympäristöluvan omaavaan käsittely- tai loppusijoituspaikkaan.

Pohjaveteen jää paikoittain pieniä määriä haihtuvia yhdisteitä. Niistä mahdollisesti aiheutuvat terveysriskit hallitaan toteuttamalla asuinrakennukset siten, että pohjavedestä tai huokosilmasta ei voi kulkeutua asuin- tai liiketiloihin terveydelle haitallisia pitoisuuksia. Korvausilman siirtyminen maaperästä rakennusten liike- ja asuintiloihin estetään. Vaihtoehtoisesti alapohjat voidaan rakentaa tuulettuvina, jolloin tuuletustilaan kulkeutuneet pitoisuudet huuhdellaan koneellisesti. Maaperän kunnostamisen lisäksi alueella tarvitaan maankäytön rajoitteita. Kohteeseen on laadittu tarkkailusuunnitelma pohjaveden, huokoskaasun ja sisäilman laadun sekä paine-erojen seurantaan. (Haapaniemi 2014, s. 24; Päätös pilaantuneen alueen puhdistamisesta 2014; Päätös pilaantuneen alueen puhdistamisesta 2016)

Tehostetussa biologisessa puhdistuksessa on tavoitteena optimoida haitta-aineiden luonnollista biologista hajoamista (Lien *et al.* 2016). Alueella tapahtuvat toiminnot voivat kunnostuksen aikana jatkua normaaliin tapaan. Kunnostusvaihe ei aiheuta häiriötä ympäristöön. Kemiallisella hapetuksella kyetään muuttamaan kemikaaleja vähemmän haitalliseen muotoon suhteellisen nopeasti ja suurina pitoisuuksina eikä se tuota jatkohävitettävää materiaalia (Goi *et al.* 2006). Kunnostuksen kestävyuden näkökulmasta voidaan suositella, että *in situ* ja *on site* -menetelmien soveltuvuus kohteeseen arvioidaan aina kunnostussuunnittelun yhteydessä. Suositus koskee myös sellaisia yhdistelmämenetelmiä, joissa *in situ* tai *on site* -tekniikka on osana kunnostusta. Eri kunnostusvaihtoehtoja yhdistämällä voidaan löytää kohteeseen kestävin kunnostusvaihtoehto. *In situ* -kunnostukseen liittyy usein epävarmuutta kunnostuksen lopputuloksesta. Maaperän kunnostus päätettiin toteuttaa massanvaihtona, mutta sen lisäksi kohteessa käytetään rakenteellisia ratkaisuja terveysriskien hallitsemiseksi. Rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan vähentää kunnostustarvetta. Kunnostustoiminta ja maanrakentaminen kytkeytyvät toisiinsa. Kaivetut pilaantuneet maa-ainekset olisi pitänyt käsitellä ja hyödyntää. Hyödyntäminen tulisi ensisijaisesti tapahtua kaivukohteessa ja toissijaisesti sen ulkopuolella.

Rakentamisen seurauksena poistuu myös sellaisia maa-aineksia, joiden pitoisuudet alittavat tavoitepitoisuudet. Tällaisia riskittömiä tavoitepitoisuudet alittavia maa-aineksia voidaan hyötykäyttää muualla kohteessa. Hyötykäytettävien maa-ainesten päälle tulee sijoittaa vähintään 0,5 m:n kerros sellaista maa-ainesta, joka ei sisällä kohonneita haitta-ainepitoisuuksia. Kohteessa hyötykäytettävien maa-ainesten sijainnit merkitään kartalle. Hyötykäyttämättä jääneet maa-ainekset toimitetaan muuhun hyödyntämiskohteeseen tai vastaanottoaikaan, jonka ympäristöluvassa on hyväksytty kyseisen maa-ainesjätteen vastaanotto. Maa-ainesta pidetään laadultaan hyötykäyttöön soveltuvana. (Haapaniemi 2014, s. 24–25) Myös pois kaivettava tuhkatäyttö on ympäristöselvityksen (Ranta-Tampellan alueen rakentaminen 2010, s. 7) mukaan hyödynnettävissä rakennusalueen ulkopuolisissa täytöissä esimerkiksi meluvallin rakentamisessa. Tuhkan sekaisesta maa-aineksesta on teetetty kaksi kaatopaikkakelpoisuustestiä, joiden perusteella maa-aines soveltuu sijoitettavaksi tavallisen jätteen kaatopaikalle. (Haapaniemi 2014, s. 25–26)

Pintamaan riittävän puhtaustason varmistaminen noudattaa ympäristöministeriön suositusta kestävästä riskinhallinnasta ja kunnostuksesta (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014). Hyötykäyttöön soveltuvia maa-aineksia tulisi ensisijaisesti hyödyntää kohteessa, sillä se vähentää kunnostustoimien energian kulutusta, massojen kuljetuksista aiheutuvia kasvihuonepäästöjä, neitseellisen maa-aineksen käyttöä ja kaatopaikalle viedyn jätteen määrää. Lisäksi se tuo kustannussäästöjä. Maa-ainesten hyötykäyttö tukee kestävyys tavoitteita. MARA-MASA-asetuksen uudistus tukee ja helpottaa jätemateriaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä tulevaisuudessa. Mikäli maa-aines ajetaan kaatopaikalle, pitäisi sen löytyä mahdollisimman läheltä kohteen sijaintia, jotta kuljetusmatkat pysyisivät kohtuullisina. Pirkanmaan alueella maaperän luonnolliset taustapitoisuudet ovat samalla tasolla kohteen maaperän kanssa, mikä helpottaa maa-ainesten vastaanottoa.

Alueen maaperään jää kunnostuksen lopputuloksena kohonneita haitta-ainepitoisuuksia. Kaikkea pilaantunutta maa-ainesta ei kunnosteta. Kunnostustoimenpiteiden jälkeen kohde merkitään MATTI-järjestelmään pilaantuneena. Maaperän sisältämät haitta-ainepitoisuudet on tulevaisuudessa otettava huomioon kohteessa tehtävissä maankaivu- ja siirtotöissä. Puhdistustoimien riittävyttä tulee tarkkailla säännöllisesti saneeraustoimien aikana ja jälkiseurantana saneerauksen lopettamisen jälkeen.

Tampereen kaupungin Ranta-Tampellan aluetta koskevilla internetsivuilla (Ranta-Tampella 2017) on nähtävillä ajankohtaistiedotteita, suunnitelmia ja päätöksiä. Ajankohtaistiedotteissa on asukastiedotteita, tiedotteita työmaan naapureille ja tiedotteita alueen liikennejärjestelyistä. Nähtävillä on myös muun muassa hankintasuunnitelma, alueen yleissuunnitelma ja päätös pilaantuneen alueen puhdistamisesta. Avoin viestintä ja tiedottaminen yleisölle tukevat sosiaalisten näkökohtien toteutumista. Taulukossa 6 on yhteenveto kohteessa toteutuneista kestävyysnäkökohdista.

**Taulukko 6.** Yhteenveto kohteessa toteutuneista kestävyysnäkökohdista.

<b>Ympäristötekijät</b>	<b>Sosiaaliset tekijät</b>	<b>Taloudelliset tekijät</b>
Rakenteelliset ratkaisut ja maankäytön rajoitteet vähentävät kunnostustarvetta	Rakenteelliset ratkaisut ja maankäytön rajoitteet vähentävät kunnostustarvetta	Rakenteelliset ratkaisut ja maankäytön rajoitteet vähentävät kunnostustarvetta
Kaivettujen maa-ainesten hyötykäyttö kohteessa	Kaivettujen maa-ainesten hyötykäyttö kohteessa	Kaivettujen maa-ainesten hyötykäyttö kohteessa
<i>In situ</i> -kunnostus	Eri kunnostusmenetelmien yhdistäminen	Eri kunnostusmenetelmien yhdistäminen
Maaperän päällystys estää maan pölyämistä ja vähentää maan syöntiä	Maaperän päällystys estää maan pölyämistä ja vähentää maan syöntiä	Projektin joustavuus riskinhallintamenetelmien muuttuessa
Riskiperustainen kunnostusarvio	Kasvilavojen käyttö ja muiden kuin ravintokasvien istuttaminen sallittu	Riskit rakenteille otetaan huomioon suunnitteluvaiheessa ja materiaalivalinnoilla
Ei kaivutöitä pohjaveden pinnan alapuolelle	Diffuusiotiivis putkimateriaali, jotta haitta-aineita ei pääse vesijohtoveteen	Ei kaivutöitä pohjaveden pinnan alapuolelle
Kunnostuksen tavoitepitoisuudet terveys- ja ekologisten riskien perusteella	Kunnostuksen tavoitepitoisuudet terveys- ja ekologisten riskien perusteella	
	Avoin viestintä ja tiedottaminen yleisölle	

Riskinhallintasuunnitelmaa tehtäessä ympäristö-, sosiaaliset ja taloudelliset näkökohdat on pyritty saamaan tasapainoon (ks. Taulukko 6). Riittävä kunnostustaso on arvioitu riskiperustaisesti kohdistamalla toimenpiteet kohteessa esiintyviin todellisiin riskeihin. Kunnostus- ja riskinhallintasuunnitelmat muuttuivat kunnostuksen aikana. *In situ* -menetelmän soveltuvuus kohteeseen arvioitiin kunnostussuunnittelun yhteydessä, mutta sen käytöstä päätettiin luopua. Maaperän kunnostus päätettiin toteuttaa massanvaihtona. Sen lisäksi kohteessa toteutetaan rakenteellisia ratkaisuja terveysriskien hallitsemiseksi ja

kunnostustarpeen vähentämiseksi. Alueella tarvitaan maankäytön rajoitteita. Kohteessa hyötykäytetään riskittömiä tavoitepitoisuudet alittavia maa-aineksia. Myös massanvaihdon yhteydessä kaivetut pilaantuneet maa-ainekset pitäisi käsitellä ja hyödyntää. Hyödyntäminen tulisi ensisijaisesti tapahtua kaivukohteessa ja toissijaisesti sen ulkopuolella. Aluetta koskevat tiedotteet, suunnitelmat ja päätökset ovat nähtävillä julkisesti.

Prosessista ilmenee, että riskinhallinnassa on selkeästi painotettu ympäristö-, sosiaalisia ja taloudellisia näkökohtia. Massanvaihtoon perustuvassa kunnostuksessa riskinhallintasuunnitelmaa tehtäessä on ymmärrettävää, että kunnat ja yksityiset rakennusfirmat painottavat kestävyysnäkökulmia toiminnassaan hieman eri tavalla.

## 6. POHDINTA

Kestävyyden arviointi tulisi sisällyttää päätöksentekoprosessiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jolloin se mahdollistaa parhaat edellytykset luonnonvarojen kestäväälle käytölle ja lisäksi toiminnan kustannustehokkuus lisääntyy. Tällä hetkellä erillisten kestävyysarviointien teettäminen ei ole ollut vakiintunut käytäntö. Asiantuntijatyöpajoissa todettiin, että kestävyysarviointia saatetaan kyllä tehdä monissa hankkeissa, mutta tehtyjä arviointeja ja päätöksiä ei useinkaan dokumentoida (Pyy *et al.* 2017, s. 24). Dokumentoinnilla saavutetaan läpinäkyvyyttä päätöksentekoon ja hyväksyttävyyttä tehtäville toimille. Liitteessä B on esitetty Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman tutkimusperustaisen kestävyystarkastelun pääkohdat. Ohjelman vaiheet ja niihin liittyvät kestävyyskohdat on havainnollistettu portaiden muodossa. Portaat kuvaavat sitä, kuinka kestävyys täydentyy, monipuolistuu ja varmentuu ohjelman edetessä, kun kestävyys on sisälletty päätöksentekoprosessiin heti alusta alkaen. Portaiden alkupää painottuu ympäristö- ja terveystarkastelun hallintaan. Usein ympäristö-, sosiaalisten ja taloudellisten tekijöiden rajapinnat eivät erotu selvästi, vaan ne limittyvät toisiinsa.

Diplomityössä tuodaan kestävyysnäkökohdat mukaan valtakunnallista pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintaa koskevaan päätöksentekoon ja kannustetaan kestävyyttä koskevien ratkaisujen dokumentointiin. Koulutusta tarvitaan, jotta kestävyyttä osataan vaatia pilaantuneen maaperän tutkimus- ja kunnostusprojekteissa. Valtion rahoituksen myöntämisen priorisointia tehtäessä voitaisiin painottaa hankkeita, joissa kestävyyttä on mietitty mahdollisimman pitkälle. Kestävän riskinhallinnan lisääntyneet kysymykset voisi tehdä siitä vakiintuneen käytännön. Tällä hetkellä kestävyysarviointia tehdään lähinnä hankkeiden priorisoinnin yhteydessä.

Työn konkreettisena toimenpiteenä ja jatkotutkimusaiheena ehdotetaan asiantuntijaryhmässä laadittavaa kysymyslistaa, joka sisältäisi kysymyksiä pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostustoiminnan kestävyysnäkökohdista. Listan avulla voitaisiin myös luotettavasti arvioida Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman kestävyyskohdista. Lista tulisi koota kysymyksiä melko yleisellä tasolla, sillä kestävyyttä tulisi aina pohtia tapauskohtaisesti. Siinä voidaan esimerkiksi kysyä, miten kunnostusmenetelmän valinnassa on otettu huomioon ympäristö-, sosiaaliset ja taloudelliset näkökohdat. Voidaan pyytää erittelyä, mitä vaikutuksia kunnostuksesta aiheutuu ilmaan, maaperään sekä veteen ja miten nämä on otettu huomioon, miten kunnostuksen vaikutukset naapurustoon on otettu huomioon ja miten mahdollisesti kaivettuja maa-aineksia aiotaan hyötykäyttää. Lista on tarkoitettu jaettavaksi riskinarviointi- ja kunnostushankkeen osapuolille. Se voidaan jakaa konsulteille tai liittää urakkatarjouspyynn-

töön. Kysymyksiin reagoiminen pakottaisi miettimään toiminnan kestävyyttä ja vastaukset tulisi kirjattua muistiin. Toimenpiteen avulla kestävyystarkastelu tulisi tehtyä systemaattisesti. Tärkeimpiä lähtökohtia kestävän riskinhallinnan tavoitteiden saavuttamisessa ovat, että kunnostushankkeisiin osallistuvat sidosryhmät sitoutuvat tavoitteisiin ja pyrkivät omalta osaltaan edistämään kestävän kehityksen periaatteiden toteutumista.

Nykyinen kunnostuskäytäntö perustuu pitkälti maa-ainesten kaivamiseen ja loppusijoittamiseen, mikä saattaa olla ristiriidassa kestävän kehityksen periaatteiden kanssa. Masanvaihdon on tutkittu aiheuttavan eniten ei-toivottuja ympäristövaikutuksia verrattuna muihin kunnostusmenetelmiin (Cappuyns 2013). Kunnostustoimille varattava aika ja toimista aiheutuvat kustannukset vaikuttavat keskeisesti kunnostusmenetelmän valintaan. Kaivuhankkeen aikataulut, kustannukset ja lopputulos on suhteellisen helppo arvioida. *In situ* ja *on site* -kunnostusten lopputulosta ei aina osata ennakoida. Pearce *et al.* (2006), Rosén *et al.* (2008), U.S. Sustainable Remediation Forum (2009) ja Perman *et al.* (2011) mukaan hankkeelle saattaa muodostua epäsuoria kustannuksia liittyen esimerkiksi terveysriskeihin ja alueen käyttömahdollisuuksien heikentymiseen. Kaivaminen ja kaatopaikkasijoittaminen ovat merkittävä kustannuserä, kun taas tutkimusten (Järvinen 2015; Niiranen 2016) perusteella *in situ* ja *on site* -menetelmiä käyttämällä sekä kaivettuja maa-aineksia hyödyntämällä voidaan saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä. Hyödyntäminen tulisi ensisijaisesti tapahtua kaivukohteessa ja toissijaisesti sen ulkopuolella. Kiireiset aikataulut estävät usein paikan päällä tapahtuvan pidempikestoisen maa-ainesten käsittelyn.

Vaihtoehtoisia riskinhallintamenetelmiä voidaan verrata kestävyysarvioinneilla, joihin on kehitetty työkaluja, menetelmiä ja malleja. Ne soveltuvat kunnostusmenetelmien vertailuun ja merkittävien indikaattorien tunnistamiseen. Työkalujen ja menetelmien avulla riskinhallintavaihtoehtojen vaikutuksia voidaan tarkastella jäsennellysti. Työkalut tukevat päätöksentekoa, sillä niiden avulla voidaan perustella valintoja ja dokumentoida päätöksentekoprosessia. Jotta nykyisiä kestävyysarviointimalleja ja -työkaluja voitaisiin käyttää nykyistä laajemmin päätöksenteon tukena, niitä tulisi kehittää selkeämmiksi ja yksiselitteisemmiksi.

Kohdekohtaista riskinarviointia tulee hyödyntää kunnostustarpeen arvioinnissa ja kunnostustavoitteiden asettamisessa. Vastaavasti kynnys- ja ohjearvojen tai muiden viitearvojen käyttöä kunnostustavoitteina ei tule automaattisesti edellyttää ilman riskin- ja kestävyysarviointia.

Lukuisissa asiantuntijatyöpajakeskusteluissa kehittämisehdotusten kohteeksi nousi MATTI-järjestelmä, jota pitäisi kehittää käyttäjäystävällisemmäksi, luotettavammaksi ja kattavammaksi (Pyy *et al.* 2017, s. 41, 54, 55). Järjestelmän käyttö koetaan hankalaksi etenkin kunnissa ja sen tietoja ei juurikaan hyödynnetä. Järjestelmä on monille viranomaisille ja MATTI-kohteiden nykyisille haltijoille tuntematon. Tietojen kattavuudessa ja luotettavuudessa on alueellisia ja toimialakohtaisia eroja. Osa järjestelmän tiedoista on

päivittämättä ja tarkastamatta. Tietojärjestelmän käyttöoikeuksia on rajattu. Tiedot tulisi päivittää ja niiden luotettavuus tarkistaa. MATTI-järjestelmän tiedot pitäisi saada sekä päätöksentekijöiden että suunnittelijoiden käyttöön.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityössä perehdyttiin kestävyiden huomioon ottamiseen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostustoiminnassa käyttäen esimerkkeinä Valtakunnallista pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaa sekä Tampereella sijaitsevan Ranta-Tampellan asuinalueen pilaantuneen maaperän sekä pohjaveden riskinarviointia ja riskinhallintasuunnitelmaa. Kestävyys rajattiin koskemaan ympäristöllisiä, sosiaalisia ja taloudellisia tekijöitä.

Diplomityössä tehtiin tutkimusperustaisesti kestävyystarkastelu Valtakunnalliseen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelmaan. Tavoitteena oli löytää tietoa, jonka avulla jo olemassa olevia käytänteitä voidaan kehittää ottamalla kestävyys huomioon tutkimus- ja kunnostusohjelman eri vaiheissa. Työ toteutettiin käyttäen kvalitatiivista toimintatutkimusta. Kestävyiden arviointi tulisi sisällyttää päätöksentekoprosessiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jolloin se mahdollistaa parhaat edellytykset luonnonvarojen kestäväälle käytölle ja lisäksi toiminnan kustannustehokkuus lisääntyy. Arvioinnin tulisi kattaa prosessin kaikki vaiheet. Tällä hetkellä kestävyysarviointia tehdään lähinnä hankkeiden priorisoinnin yhteydessä. Diplomityössä tuodaan kestävyysnäkökohdat mukaan valtakunnallista pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintaa koskevaan päätöksentekoon ja kannustetaan kestävyttä koskevien ratkaisujen dokumentointiin.

Kestävyysarviointi tehdään aina tapauskohtaisesti, sillä ratkaisuja ei voida määritellä yleisellä tasolla. Diplomityössä nousi kuitenkin esiin joitain yleisiä kestävä riskinhallintaa ja kunnostusta koskevia suosituksia, joita voidaan soveltaa pilaantuneita alueita koskevassa päätöksenteossa. Kestävyys voidaan ottaa huomioon seuraavasti:

- Riskien hyväksyttävyys suhteutetaan kestävä kehityksen periaatteisiin niin, että päätöksenteko tukee luonnonvarojen ja maa-alueiden kestävä käyttöä.
- Edellytetään osapuolten pitkäjänteistä sitoutumista hankkeeseen sekä työnjaon, vastuiden ja velvoitteiden selvittämistä ja jakamista.
- Jotta lopputulos palvelisi kaikkia asianosaisia ja ratkaisut olisivat kokonaisuudessaan kestäviä, pyritään kunnostuksen kannalta keskeisten sidosryhmien näkemysten yhteensovittamiseen.
- Tehtyjä ratkaisuja perustellaan ja havainnollistetaan dokumentoinnin avulla.
- Käytännön toimenpiteet sekä kunnostustoimien ajoitus suunnitellaan huolellisesti. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostaminen ja alueiden käytön suunnittelu tukevat toisiaan.
- Arvioidaan *in situ ja on site* -kunnostusmenetelmien soveltuvuus kohteessa.

- Kaatopaikkasijoittamisen sijaan suositetaan kaivettujen maa-ainesten käsittelyä ja hyötykäyttöä.
- Otetaan huomioon riskinarviointiin liittyvän viestinnän ja vuorovaikutuksen oikea ajoitus ja selkeys. Viestinnän ja vuorovaikutuksen pyrkimyksenä on parantaa riskinhallinnan tavoitteiden ymmärtämistä, eri toimijoiden keskinäistä luottamusta ja pilaantuneisiin maa-alueisiin liittyvää asenneilmapiiriä.

Työn konkreettisenä toimenpiteenä ja jatkotutkimusaiheena ehdotetaan asiantuntijaryhmässä laadittavaa kysymyslistaa, joka sisältäisi kysymyksiä pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostustoiminnan kestävyysnäkökohdista. Listan avulla voitaisiin myös luotettavasti arvioida Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman kestävyuden toteutumista. Kysymyksiin reagoiminen pakottaisi miettimään kestävyysnäkökulmia ja vastaukset tulisi kirjattua muistiin. Dokumentoinnilla saavutetaan läpinäkyvyyttä päätöksentekoon ja hyväksyttävyyttä tehtäville toimille. Lista on tarkoitettu jaettavaksi riskinarviointi- ja kunnostushankkeen osapuolille. Tärkeimpiä lähtökohtia kestävä riskinhallinnan tavoitteiden saavuttamisessa on, että kunnostushankkeisiin osallistuvat sidosryhmät sitoutuvat tavoitteisiin ja pyrkivät omalta osaltaan edistämään kestävä kehityksen periaatteiden toteutumista. Kestävyystarkastelun toteutumiseen tarvitaan riittävää asiantuntemusta, jotta kestävyyttä osataan vaatia maaperän tutkimus- ja kunnostusprojekteissa. Koulutuksen avulla voidaan saavuttaa muutoksia riskinhallintakäytäntöihin.

Työssä tarkasteltiin Tampereella sijaitsevan Ranta-Tampellan asuinalueen pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviointia ja arvioitiin riskinhallinnan kestävyyttä. Tarkastelu rajattiin koskemaan kohteessa esiintyviä kloorattuja liuottimia. Kohteen riskinhallintasuunnitelmaa tehtäessä ympäristö-, sosiaaliset ja taloudelliset näkökohdat on saatu tasapainoon. Riittävä kunnostustaso arvioitiin riskiperustaisesti kohdistamalla toimenpiteet kohteessa esiintyviin todellisiin riskeihin. Kunnostus- ja riskinhallintasuunnitelmat muuttuivat kunnostuksen aikana. *In situ* ja *on site* -menetelmien soveltuvuus kohteeseen arvioitiin kunnostussuunnittelun yhteydessä, mutta niiden käytöstä päätettiin luopua. Maaperän kunnostus päätettiin toteuttaa massanvaihtona. Kunnostustarpeen vähentämiseksi ja terveysriskien hallitsemiseksi kohteessa tarvitaan lisäksi rakenteellisia ratkaisuja ja maankäytön rajoitteita. Kohteessa on päätetty hyötykäyttää rakentamisen yhteydessä kaivettuja riskittömiä tavoitepitoisuudet alittavia maa-aineksia. Myös massanvaihdon yhteydessä kaivetut pilaantuneet maa-ainekset pitäisi käsitellä ja hyötykäyttää. Hyödyntämisen tulisi ensisijaisesti tapahtua kaivukohteessa ja toissijaisesti sen ulkopuolella. Prosessista ilmenee, että riskinhallinnassa on selkeästi painotettu ympäristö-, sosiaalisia ja taloudellisia näkökohtia. Massanvaihtoon perustuvassa kunnostuksessa riskinhallintasuunnitelmaa tehtäessä on ymmärrettävää, että kunnat ja yksityiset rakennusfirmat painottavat kestävyysnäkökulmia toiminnassaan hieman eri tavalla.

Sekä Suomessa että muualla Euroopassa kestävyysarviointi on kehittymässä osaksi pilaantuneiden maa-alueiden riskinarviointia. Kestävyysarvioinnin tavoitteena on pohtia systemaattisesti eri vaihtoehtojen ympäristö-, sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia ja tunnistaa kokonaisvaikutusten kannalta kestävin lopputulos. Riskinhallintavaihtoehtojen vaikutusten jäsenneily tarkastelu toimii päätöksenteon tukena. Monet Euroopan maat ovat onnistuneet merkittävästi lisäämään *in situ* ja *on site* -menetelmien käyttöä kunnostuksessa sekä kaivettujen maa-ainesten käsittelyä ja hyötykäyttöä. Suomessa MARA-MASA-asetuksen uudistus tukee ja helpottaa jättemateriaalien hyödyntämistä tulevaisuudessa. Tarkoituksena on tukea kestävä kierrätystalouden tavoitteita käyttämällä uusiomaainesta kohteissa neitseellisen aineksen sijaan.

Toimintatutkimuksen avulla tässä työssä pystyttiin vastaamaan asetettuihin tavoitteisiin. Toimintatutkimusta käyttämällä saavutettiin selkeät tulokset. Tutkimusmenetelmän vahvana puolena oli se, että saatiin yhdistettyä useiden asiantuntijoiden osaaminen. Diplomityöntekijä toimi aktiivisesti mukana tutkimuksessa ja pystyi vaikuttamaan siihen. Tutkimuksen toimintaympäristö on selitetty työssä niin tarkasti, että lukija voi arvioida onko toiminta siirrettävissä hänen omiin pilaantuneen maaperän riskinhallintaa ja kestävyyttä koskeviin päätöksenteko-ohjelmiinsa. Luotettavuuden arvioinnissa on oma merkityksensä sillä, että diplomityöntekijä ei ole tutkimus- ja kunnostusryhmän jäsen eikä hänellä ole sidoksia muihinkaan alan toimijoihin.

Työssä esitetyt tutkimus- ja kunnostusohjelman vaiheet eivät kuvaa Pirkanmaan ELY-keskuksen virallista toimintamallia, vaan perustuvat ohjauskokouksissa esitettyihin yksinkertaistuksiin ja kuvaavat diplomityöntekijälle muodostunutta näkemystä toimintamallista.

## LÄHTEET

Alén, R. (2009). *Kokoelma orgaanisia yhdisteitä: Ominaisuudet ja käyttökohteet*, Raimo Alén ja Consalen Consulting, Helsinki, 1370 s.

ATD-GC-MS (2017). Cerium Labs, web page. Saatavissa (viitattu 14.3.2017): <http://www.ceriumlabs.com/41/ATD-GC-MS.htm>.

Bardos, P., Bone, B., Boyle, R., Ellis, D., Evans, F., Harries, N.D. & Smith, J.W.N. (2011). Applying Sustainable Development Principles to Contaminated Land Management Using the SuRF-UK Framework, *Remediation Journal*, Vol. 21(2), pp. 77–100.

Bardos, P., Lazar, A. & Willenbrock, N. (2009). A Review of Published Sustainability Indicator Sets: How Applicable Are They to Contaminated Land Remediation Indicator-Set Development? *Contaminated land: Applications in Real Environments*, London, UK, 126 p.

Bartke, S. (2011). Valuation of Market Uncertainties for Contaminated Land, *International Journal of Strategic Property Management*, Vol. 15 (4), pp. 356–378.

Baum, F., MacDougall, C. & Smith, D. (2006). Participatory Action Research, *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 60(10), pp. 854–857.

Beames, A., Broekx, S., Lookman, R., Touchant, K. & Seuntjens, P. (2014). Sustainability Appraisal Tools for Soil and Groundwater Remediation: How Is the Choice of Remediation Alternative Influenced by Different Sets of Sustainability Indicators and Tool Structures? *The Science of the Total Environment*, Vol. 470–471, pp. 954–966.

Bradley, P.M. (2000). Microbial Degradation of Chloroethenes in Groundwater Systems, *Hydrogeology Journal*, Vol 8(1), pp. 104–111.

Cappuyns, V. (2013). Environmental Impacts of Soil Remediation Activities: Quantitative and Qualitative Tools Applied on Three Case Studies, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 52, pp. 145–154.

Chambon, J.C., Broholm, M.M., Binning, P.J. & Bjerg, P.L. (2010). Modeling Multi-Component Transport and Enhanced Anaerobic Dechlorination Processes in a Single Fracture-Clay Matrix System, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 112(1), pp. 77–90.

*Cis*-1,2-Dichloroethene (2017). National Center for Biotechnology Information, web page. Saatavissa (viitattu 11.3.2017): [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/\\_Z\\_1\\_2-Dichloroethylene#section=Top](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/_Z_1_2-Dichloroethylene#section=Top).

Cundy, A.B., Bardos, R.P., Church, A., Puschenreiter, M., Friesl-Hanl, W., Müller, I., Neu, S., Mench, M., Witters, N. & Vangronsveld, J. (2013). Developing Principles of Sustainability and Stakeholder Engagement for "Gentle" Remediation Approaches: The European Context, *Journal of Environmental Management*, Vol. 129, pp. 283–291.

Damgaard, I., Bjerg, P.L., Bælum, J., Scheutz, C., Hunkeler, D., Jacobsen, C.S., Tuxen, N. & Broholm, M.M. (2013). Identification of Chlorinated Solvents Degradation Zones in Clay Till by High Resolution Chemical, Microbial and Compound Specific Isotope Analysis, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 146, pp. 37–50.

David, M.M., Cecillon, S., Warne, B.M., Prestat, E., Jansson, J.K. & Vogel, T.M. (2015). Microbial Ecology of Chlorinated Solvent Biodegradation: Microbial Ecology of PCE Degradation, *Environmental Microbiology*, Vol. 17(12), pp. 4835–4850.

Dearden, R.A., Noy, D.J., Lelliott, M.R., Wilson, R. & Wealthall, G.P. (2013). Release of Contaminants from a Heterogeneously Fractured Low Permeability Unit Underlying a DNAPL Source Zone, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 153, pp. 141–155.

Decision Framework for Incorporation of Green and Sustainable Practices into Environmental Remediation Projects (2010). Interim Guidance 10-01, United States Army Corps of Engineers (USACE), Washington, D.C., USA, 21 p. Saatavissa (viitattu 27.1.2017): <http://www.hnc.usace.army.mil/Portals/65/docs/Directorates/EMCX/DECISION%20FRAMEWORK%20FOR%20INCORPORATION.pdf>.

Diamond, M., Page, C.A., Campbell, M., McKenna, S. & Lall, R. (1999). Life-Cycle Framework for Assessment of Site Remediation Options: Method and Generic Survey, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 18(4), pp. 788–800.

Erdem, M. & Nassauer, J.I. (2013). Design of Brownfield Landscapes under Different Contaminant Remediation Policies in Europe and the United States, *Landscape Journal: Design, Planning, and Management of the Land*, Vol. 32(2), pp. 277–292.

Eskola, J. & Suoranta, J. (2008). Johdatus laadulliseen tutkimukseen, 8. painos, Vastapaino, Tampere, 268 s.

Evaluation of Expenditure and Jobs for Addressing Soil Contamination in Member States (2013). Ernst & Young Environment and Sustainability Services, Reference: ENV.B.1/ETU/2011/0012, Final Report to the European Commission, Directorate-General Environment. Saatavissa (viitattu 21.4.2017): [http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/Soil\\_contamination\\_expenditure\\_jobs.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/Soil_contamination_expenditure_jobs.pdf).

Fox, M., Martin, P. & Green, G. (2007). *Doing Practitioner Research*, Sage Publications Ltd, London, UK, 224 p.

Goi, A., Kulik, N. & Trapido, M. (2006). Combined Chemical and Biological Treatment of Oil Contaminated Soil, *Chemosphere*, Vol. 63(10), pp. 1754–1763.

Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites (2008). United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA. Saatavissa (viitattu 26.1.2017): <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/green-remediation-primer.pdf>.

Green and Sustainable Remediation: State of the Science and Practice (2011). Interstate Technology and Regulatory Council, Washington, D.C., USA. Saatavissa (viitattu 27.1.2017): <http://www.itrcweb.org/GuidanceDocuments/GSR-1.pdf>.

Ground Water Issue – Dense Non-Aqueous Phase Liquids (1991). United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA, 21 p. Saatavissa (viitattu 9.5.2017): [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/dnapl\\_issue\\_paper.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/dnapl_issue_paper.pdf).

Haapaniemi, J. (2014). *Ranta-Tampella – Pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviointi*, Sito Oy, Tampere, julkaisematon selvitys, 134 s.

Harclerode, M.A., Lal, P. & Miller, M.E. (2016). Quantifying Global Impacts to Society from the Consumption of Natural Resources During Environmental Remediation Activities: Global Impacts to Society from Remedial Activities, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 20(3), pp. 410–422.

Heikkinen, H.L.T. (2015). *Toimintatutkimus: kun käytäntö ja tutkimus kohtaavat, teoksessa: Valli R. & Aaltola J. (toim.), Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1, Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle*, 4. painos, PS-kustannus, Jyväskylä, s. 204–219.

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. & Sinivuori, E. (2015). *Tutki ja kirjoita*, 20. painos, Tammi, Helsinki, 464 s.

Holland, K.S., Lewis, R.E., Tipton, K., Karnis, S., Dona, C., Petrovskis, E., Bull, L.P., Taege, D. & Hook, C. (2011). Framework for Integrating Sustainability into Remediation Projects, *Remediation Journal*, Vol. 21(3), pp. 7–38.

Hunkeler, D., Abe, Y., Broholm, M.M., Jeannotat, S., Westergaard, C., Jacobsen, C.S., Aravena, R. & Bjerg, P.L. (2011). Assessing Chlorinated Ethene Degradation in a Large Scale Contaminant Plume by Dual Carbon-Chlorine Isotope Analysis and Quantitative PCR, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 119(1), pp. 69–79.

ISO/PRF 18504, Soil quality - Guidance on Sustainable Remediation, julkaisematon dokumentti.

Jaakkonen, S. (2008). Kaivettujen pilaantuneiden maa-ainesten käsittely Suomessa, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 36/2008, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 45 s. Saatavissa (viitattu 16.3.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39820/SYKEra\\_36\\_2008.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39820/SYKEra_36_2008.pdf?sequence=1).

Jenssen, P. & Siegrist, R. (1990). Evaluation of Sampling Method Effects on Volatile Organic Compound Measurements in Contaminated Soils, *Environmental Science and Technology*, Vol. 24(9), pp. 1387–1392.

Järvinen K. (2015). Helsingin Jätkäsaari rakentuu jättemateriaaleista – Resurssitehokas maarakentaminen tulee, *Ympäristö ja Terveys -lehti* 7/2015, 46 vsk, s. 40–44.

Jätelaki (2011). L 17.6.2011/646. Saatavissa (viitattu 10.2.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>.

Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maarakentamisessa laajennetaan (2017). Ympäristöministeriö, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 10.2.2017): [http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Ymparistonsuojelun\\_valmisteilla\\_oleva\\_lainsaadanto/Jatteiden\\_hyodyntaminen\\_maarakentamisessa](http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatteiden_hyodyntaminen_maarakentamisessa).

Kansainväliset kemikaalikortit: vinyylidikloridi (2000). Kansainvälinen kemikaaliturvallisuusohjelma, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 10.3.2017): <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0082.htm>.

Kestävän kehityksen tavoitteet – Agenda 2030 (2015). Suomen YK-liitto, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 11.2.2017): <http://www.ykliitto.fi/yk70v/yk/kehitys/post-2015>.

Kohti kestäviä valintoja – Kansallisesti ja globaalisti kestävä Suomi (2006). Kansallisen kestävä kehityksen strategia, valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 5/2006, valtioneuvoston kanslia, Edita, 132 s. Saatavissa (viitattu 1.4.2017): <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B3EECF3AB-6A1D-4641-AEA3-6901F3E18D72%7D/52526>.

Kouznetsova, I., Mao, X., Robinson, C., Barry, D.A., Gerhard, J.I. & McCarty, P.L. (2010). Biological Reduction of Chlorinated Solvents: Batch-Scale Geochemical Modeling, *Advances in Water Resources*, Vol. 33(9), pp. 969–986.

Laitinen, J. (2016). Pilaantuneiden maa-alueiden kokeiluhanke kannustaa innovaatioihin, *Ympäristö ja Terveys -lehti 7/2016*, 47. vsk, s. 42–45.

Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista (2016). L 29.12.2016/1397. Saatavissa (viitattu 7.4.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161397#L10P90>.

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (2005). L 3.6.2005/390. Saatavissa (viitattu 30.1.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050390>.

Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta (1994). L 19.8.1994/737. Saatavissa (viitattu 30.1.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940737>.

Lavee, D., Ash, T. & Baniad, G. (2012). Cost-Benefit Analysis of Soil Remediation in Israeli Industrial Zones, *Natural Resources Forum*, Vol. 36(4), pp. 285–299.

van Liedekerke, M., Prokop, G., Rabl-Berger, S., Kibblewhite, M. & Louwagie, G. (2014). Progress in the Management of Contaminated Sites in Europe, Report EUR 26376 EN, European Commission, Joint Research Centre, Luxembourg. Saatavissa (viitattu 1.4.2017): <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites>.

Lien, P.J., Yang, Z.H., Chang, Y.M., Tu, Y.T. & Kao, C.M. (2016). Enhanced Bioremediation of TCE-Contaminated Groundwater with Coexistence of Fuel Oil: Effectiveness and Mechanism Study, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 289, pp. 525–536.

Maa-ainesten kestävä käyttö (2009). Opas maa-ainesten ottamisen sääntelyä ja järjestämisestä varten, *Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2009*, Ympäristöministeriö, Edita Prima Oy, Helsinki, 135 s. Saatavissa (viitattu 1.4.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41538/OH\\_1\\_2009\\_Maa\\_ainesten\\_kestava\\_kaytto.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41538/OH_1_2009_Maa_ainesten_kestava_kaytto.pdf?sequence=1).

Mao, F., Gaunt, J.A., Cheng, C. & Ong, S.K. (2010). Permeation of BTEX Compounds Through HDPE Pipes under Simulated Field Conditions, *Journal (American Water Works Association)*, Vol. 102(3), pp. 107–118.

Methodology for Understanding and Reducing a Project's Environmental Footprint (2012). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 135 p. Saatavissa (viitattu 18.4.2017): <https://clu-in.org/greenremediation/methodology>.

Metsämuuronen, J. (2008) Laadullisen tutkimuksen perusteet, Metodologia-sarja 4, 3. painos, International Methelp, Helsinki, 74 s.

Mroueh, U.M., Vahanne, P., Eskola, P., Pasanen, A., Wahlström, M., Mäkelä, E. & Laaksonen, R. (2004). Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta, VTT Tiedotteita 2245, VTT, Vantaa, 380 s. Saatavissa (viitattu 26.1.2017): <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2245.pdf>.

NICOLE Roadmap for Sustainable Remediation (2010). NICOLE: Network for Industrially Contaminated Land in Europe. Saatavissa (viitattu 1.2.2017): <http://www.nicole.org/uploadedfiles/2010-wg-sustainable-remediation-roadmap.pdf>.

Nihtilä, M. (2016). Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinnan kestävyysarviointi ja siihen käytettävät menetelmät, diplomityö, Aalto-yliopisto, Biotekniikan ja kemian tekniikan laitos, Espoo, 88 s. Saatavissa (viitattu 20.3.2017): [https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/24691/master\\_Nihtilä\\_Meri\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/24691/master_Nihtilä_Meri_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Niiranen, O. (2016). Pilaantuneiden maa-ainesten paikallinen hyödyntäminen kestävästä kaupunkiympäristön tavoittelussa, diplomityö, Aalto-yliopisto, Rakennetun ympäristön laitos, Espoo, 108 s. Saatavissa (viitattu 9.2.2017): [https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23974/master\\_Niiranen\\_Oona\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23974/master_Niiranen_Oona_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Nygrén, A. (2017). Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelman toimeenpano, ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu, 93 s. Saatavissa (viitattu 29.5.2017): [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127728/Nygren\\_Ari\\_ONT\\_kev2017.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127728/Nygren_Ari_ONT_kev2017.pdf?sequence=1).

Oesterreich, R.C. & Siegrist, R.L. (2009). Quantifying Volatile Organic Compounds in Porous Media: Effects of Sampling Method Attributes, Contaminant Characteristics and Environmental Conditions, *Environmental Science & Technology*, Vol. 43(8), pp. 2891–2898.

Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: tetrakloorieteeni (2016). Työterveyslaitos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 26.2.2017): <https://www.ttl.fi/ova/tetrakloorietyl.pdf>.

Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: trikloorietyleni (2014). Työterveyslaitos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.2.2017): <http://www.ttl.fi/ova/ttrikloorietyl.html>.

Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: vinyylidikloridi (2015). Työterveyslaitos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.2.2017): <http://www.ttl.fi/ova/vinyyklo.html>.

Our Common Future (1987). World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, UK.

Pajukallio, A.-M. (2017). Lainsäädännössä tapahtuu, ympäristöministeriö, Maaperän tutkimus- ja kunnostusyhdistys (MUTKU) -päivät 29.3.2017.

Panagos, P., van Liedekerke, M., Yigini, Y. & Montanarella, L. (2013). Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected Through a European Network, *Journal of Environmental and Public Health*, Vol. 2013, pp. 1–11.

Pearce, D., Atkinson, G. & Mourato, S. (2006). *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Development*, OECD, Paris, France. Saatavissa (viitattu 26.1.2017): <http://www.oecd.org/env/tools-evaluation/cost-benefitanalysisandtheenvironmentrecentdevelopments.htm>.

Perman, R., Ma, Y., Common, M., Madison, D. & McGilvray, J. (2011). *Natural Resource and Environmental Economics*, 4<sup>th</sup> Edition, Pearson Education Limited, Harlow, Essex, UK, 712 p.

*Physical Constants of Organic Compounds* (2009). Teoksessa: Lide, D.R. (ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 90<sup>th</sup> Edition, CRC Press, Boca Raton FL, USA, pp. 3-1–3-522.

Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen loppuraportti (2010). Suomen ympäristökeskus, *Ympäristöopas 2010*, Edita Prima Oy, Helsinki, 53 s. Saatavilla (viitattu 15.3.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38838/YO2010\\_Pilaantuneen\\_maa-alueen\\_kunnostuksen\\_loppuraportti.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38838/YO2010_Pilaantuneen_maa-alueen_kunnostuksen_loppuraportti.pdf?sequence=1).

Pilaantuneen maa-alueen puhdistamisen rahoitus (2015). Suomen ympäristökeskus, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 22.11.2016): [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Pilaantuneet\\_maaalueet/Pilaantuneen\\_alueen\\_puhdistamisen\\_rahoytys](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet/Pilaantuneen_alueen_puhdistamisen_rahoytys).

Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta (2014). Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014, ympäristöministeriö, Edita Prima Oy, Helsinki, 235 s. Saatavissa (viitattu 15.1.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH\\_6\\_2014.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf).

Pilaantuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopas (2006). Ympäristöhallinnon ohjeita 7/2006, ympäristöministeriö, Edita Prima Oy, Helsinki, 103 s. Saatavissa (viitattu 30.1.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41536/OH7\\_2006\\_Pilaantuneen\\_maa\\_alueen\\_tutkimuksen\\_ja\\_kunnostuksen\\_tyosuojeluopas.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41536/OH7_2006_Pilaantuneen_maa_alueen_tutkimuksen_ja_kunnostuksen_tyosuojeluopas.pdf?sequence=1).

Pilaantuneen maaperän kestävä kunnostaminen (2016). Suomen ympäristökeskus, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 9.11.2016): [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Pilaantuneet\\_maaalueet/Kestava\\_kunnostaminen](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet/Kestava_kunnostaminen).

Pilaantuneet alueet Suomessa (2014). Suomen ympäristökeskus, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 23.1.2017): <http://www.ymparisto.fi/pilaantuneetalueetsuomessa>.

Pilaantuneet maa-alueet (2013). Suomen ympäristökeskus, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 22.1.2017): [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Pilaantuneet\\_maaalueet](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet).

Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot – PIRISTE (2016). Suomen ympäristökeskus, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 24.4.2017): [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Tutkimus\\_ja\\_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pilaantuneiden\\_maaalueiden\\_kestavat\\_riskinhallintakeinot\\_PIRISTE](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pilaantuneiden_maaalueiden_kestavat_riskinhallintakeinot_PIRISTE).

Pollard, S.J.T., Brookes, A., Earl, N., Lowe, J., Kearney, T. & Nathanail, C.P. (2004). Integrating Decision Tools for the Sustainable Management of Land Contamination, *Science of The Total Environment*, Vol. 325(1–3), pp. 15–28.

Pyy, O., Haavisto, T., Niskala, K. & Silvola, M. (2013). Pilaantuneet maa-alueet Suomessa, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2013, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 57 s. Saatavissa (viitattu 22.1.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41048/SYKEra\\_27\\_2013.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41048/SYKEra_27_2013.pdf?sequence=1).

Pyy, O. & Laitinen, J. (2016). Pilaantuneet alueet – merkittävä ongelma Euroopan Unionin alueella, *Ympäristö ja Terveys* 7/2016, 47. vsk, s. 46–51.

Pyy, O., Tikkanen, S., Reinikainen, J., Nihtilä, M. & Sorvari, J. (2017). Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot, valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2017, valtioneuvoston kanslia, Helsinki, 108 s. Saatavissa (viitattu 1.3.2017): [http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/25\\_Pilaantuneiden+maa-alueiden+kestävät+riskinhallintakeinot\\_.pdf/f88082c5-6994-4aa6-b138-7776e62be6b0?version=1.0](http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/25_Pilaantuneiden+maa-alueiden+kestävät+riskinhallintakeinot_.pdf/f88082c5-6994-4aa6-b138-7776e62be6b0?version=1.0).

Pyötsiä, K. (2017). Kansallinen PIMA-tutkimus- ja kunnostusohjelma, Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Maaperän tutkimus- ja kunnostusyhdistys (MUTKU) -päivät 29.3.2017.

Päätös pilaantuneen alueen puhdistamisesta (2014). PIRELY/76/07.00/2012, Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Tampere.

Päätös pilaantuneen alueen puhdistamisesta (2016). PIRELY/76/07.00/2012, Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Tampere.

Ranta-Tampella (2017). Tampereen kaupunki, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.5.2017): <http://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/projektit/keskustahanke/ranta-tampella.html>.

Ranta-Tampellan alueen rakentaminen (2010). Ramboll Finland Oy, Tampere.

Rantatunneli – kaupungin kasvualusta. Liikennevirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2017): <http://www2.liikennevirasto.fi/rantatunneli/#.WP3npRhDy1s>.

Reed, M.S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C.H. & Stringer, L.C. (2009). Who's in and Why? A Typology of Stakeholder Analysis Methods for Natural Resource Management, *Journal of Environmental Management*, Vol. 90(5), pp. 1933–1949.

Reinikainen, J. & Sorvari, J. (2016). Promoting Justified Risk-Based Decisions in Contaminated Land Management, *Science of The Total Environment*, Vol. 563–564, pp. 783–795.

Reinikainen, J. (2017). Näytteenoton merkitys riskienhallinnassa, Suomen ympäristökeskus, Maaperän tutkimus- ja kunnostusyhdistys (MUTKU) -päivät 28.3.2017.

Reynolds, D.A. & Kueper, B.H. (2002). Numerical Examination of the Factors Controlling DNAPL Migration Through a Single Fracture, *Ground Water*, Vol. 40(4), pp. 368–377.

Rizzo, E., Pesce, M., Pizzol, L., Alexandrescu, F.M., Giubilato, E., Critto, A., Marcomini, A. & Bartke, S. (2015). Brownfield Generation in Europe: Identifying Stakeholder Perceptions, Concerns, Attitudes and Information Needs, *Land Use Policy*, Vol. 48, pp. 437–453.

Rodríguez-Navas, C., Forteza, R. & Cerdà, V. (2012). Use of Thermal Desorption - Gas Chromatography - Mass Spectrometry (TD-GC-MS) on Identification of Odorant Emission Focus by Volatile Organic Compounds Characterisation, *Chemosphere*, Vol. 89 (11), pp. 1426–1436.

Rosén, L., Back, P., Söderqvist, T., Norrman, J., Brinkhoff, P., Norberg, T., Volchko, Y., Norin, M., Bergknut, M. & Döberl, G. (2015). SCORE: A Novel Multi-Criteria Decision Analysis Approach to Assessing the Sustainability of Contaminated Land Remediation, *Science of the Total Environment*, Vol. 511, pp. 621–638.

Rosén, L., Söderqvist, T., Back, P.E., Soutukorva, Å., Brodd, P. & Grahn, L. (2008). Kostnads-nyttoanalys som verktyg för prioritering av efterbehandlingsinsatser, Metodutveckling och exempel på tillämpning, Rapport 5836, Naturvårdsverket, Stockholm, Sverige. Saatavissa (viitattu 22.3.2017):

<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5836-4.pdf>.

Smith, G. & Nadebaum, P. (2016). The Evolution of Sustainable Remediation in Australia and New Zealand: A Storyline, *Journal of Environmental Management*, Vol. 184, pp. 27–35.

Sorvari, J. (2010). Application of Risk Assessment and Multi-Criteria Analysis in Contaminated Land Management in Finland, *Monographs of the Boreal Environment Research* 37, Finnish Environment Institute, Helsinki, 72 p. Saatavissa (viitattu 8.1.2017): <http://hdl.handle.net/10138/39339>.

Sorvari, J., Antikainen, R., Kosola, M.-L., Hokkanen, P. & Haavisto, T. (2009). Eco-Efficiency in Contaminated Land Management in Finland – Barriers and Development Needs, *Journal of Environmental Management*, Vol. 90(5), pp. 1715–1727.

Sorvari, J. & Seppälä, J. (2010). A Decision Support Tool to Prioritize Risk Management Options for Contaminated Sites, *Science of the Total Environment*, Vol. 408(8), pp. 1786–1799.

Sustainable Remediation Forum UK: A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation (2010). *Contaminated Land: Applications in Real Environments*, London, UK, 63 p. Saatavissa (viitattu 20.1.2017): [surf\\_uk\\_framework\\_final\\_march\\_2010.pdf](#).

Sustainable Remediation Forum UK – Annex 1: The SuRF-UK Indicator Set for Sustainable Remediation Assessment (2011). *Contaminated Land: Applications in Real Environments*, London, UK, 18 p. Saatavissa (viitattu 15.1.2017): [www.claire.co.uk/surfuk](http://www.claire.co.uk/surfuk).

Suter, G.W., Vermeire, T., Munns, W.R. & Sekizawa, J. (2005). An Integrated Framework for Health and Ecological Risk Assessment, *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol. 207(2), pp. 611–616.

Särkkä, E. & Wähä, S. (2016). Katsaus jätealan lainsäädäntöön, *Ympäristö ja Terveys*, 7/2016, 47. vsk, s. 4–8.

Söderström, S., Tuomainen, J., Karppanen, J., Mäenpää, M. & Pyy, O. (2016). Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksiin liittyvät lupapäätökset vuonna 2014. Suomen ympäristökeskus raportteja 44/2016, 26 s. Saatavissa (viitattu 16.3.2017): <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/170412>.

Taloudellinen kestävä kehitys (2015). Suomen YK-liitto, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 23.1.2017): <http://www.ykliitto.fi/yk70v/taloudellinen>.

Tampereen kaupunki (2012). Saatavissa (viitattu 28.2.2017): <http://www.tamperelainen.fi/artikkeli/100293>.

Tampereen keskustan rantojen käytön historia 1700-luvulta lähtien (2013). Tampereen kaupunki, Maankäytön suunnittelu, Tampere, 51 s.

A Technical Guide for Static Headspace Analysis Using GC (2000). Restek. Saatavissa (viitattu 13.3.2017): <http://www.restek.com/pdfs/59895B.pdf>.

Tenax® TA Adsorbent Resin (2017). Scientific Instrument Services, web page. Saatavissa (viitattu 14.3.2017): <http://www.sisweb.com/index/referenc/tenaxtam.htm#4>.

Tiira, E. (2017). Kaatopaikkasijoittamisen haasteet tulevaisuudessa, Pirkanmaan jätehuolto Oy, Maaperän tutkimus- ja kunnostusyhdistys (MUTKU) -päivät 29.3.2017.

Tutkimustodistus – Liite 7.2 (2011). Ramboll Analytics, raportissa: Haapaniemi J., Ranta-Tampella – Pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviointi, Sito Oy, Tampere, julkaisematon selvitys.

Tutkimustodistus – Liite 7.5 (2012). Ramboll Analytics, raportissa: Haapaniemi J., Ranta-Tampella – Pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviointi, Sito Oy, Tampere, julkaisematon selvitys.

Tutkimustodistus – Liite 7.5 (2014). Ramboll Analytics, raportissa: Haapaniemi J., Ranta-Tampella – Pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviointi, Sito Oy, Tampere, julkaisematon selvitys.

Tutkimustodistus – Liite 7.6 (2014). Ramboll Analytics, raportissa: Haapaniemi J., Ranta-Tampella – Pilaantuneen maaperän, pohjaveden ja huokoskaasun riskinarviointi, Sito Oy, Tampere, julkaisematon selvitys.

U.S. Sustainable Remediation Forum (2009). Sustainable Remediation White Paper – Integrating Sustainable Principles, Practices, and Metrics into Remediation Projects, Remediation Journal, Vol. 19(3), pp. 5–114.

Valli, J. & Aaltola, J. (2010). Ikkunoita tutkimusmetodeihin 2, Näkökulmia aloittelevalla tutkijalle tutkimuksen teoreettisiin lähtökohtiin ja analyysimenetelmiin, 3. painos, PS-kustannus, Jyväskylä, 312 s.

Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia (2015). Ympäristöhallinnon ohjeita 10/2015, ympäristöministeriö, Helsinki, 70 s. Saatavissa (viitattu 30.1.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159058/SY\\_10\\_2015.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159058/SY_10_2015.pdf).

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (2006). VNa 28.6.2006/591. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>.

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (2007). VNa 1.3.2007/214. Saatavissa (viitattu 9.3.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (2009). VNa 26.3.2009/205. Saatavissa (viitattu 7.4.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>.

Vegter, J., Lowe, J. & Kasamas, H. (2002). Sustainable Management of Contaminated Land: An Overview – A Report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies, Umweltbundesamt, Vienna. Saatavissa (viitattu 25.1.2017): [http://www.commonforum.eu/Documents/DOC/Clarinet/rblm\\_report.pdf](http://www.commonforum.eu/Documents/DOC/Clarinet/rblm_report.pdf).

Vepsäläinen, M., Pyy, O., Sjölund, M., Nikunen, S., Rajala, A.M. & Reinikainen, J. (2016). Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2016, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 37 s. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159799/SYKEra\\_1\\_2016.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159799/SYKEra_1_2016.pdf?sequence=1).

Yeh, H.C., & Kastenber, W.E. (1991). Health Risk Assessment of Biodegradable Volatile Organic Chemicals: A Case Study of PCE, TCE, DCE and VC. *Journal of Hazardous Materials* 27(2), pp. 111–126.

Ympäristönsuojelulaki (2014). L 27.6.2014/527. Saatavissa (viitattu 30.1.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527#Lidp3135776>.

## LIITE A: PIRKANMAAN ELY-KESKUKSESSA KÄYTYJEN OH- JAUSKOKOUSTEN OSALLISTUJAT

27.9.2016	Petri Heino	hankinta-asiantuntija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Pauliina Kolari	suunnittelija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Jarno Laitinen	projektipäällikkö, PIMA-kokeiluhanke	Pirkanmaan ELY-keskus
	Kari Pyötsiä	projektipäällikkö, Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma	Pirkanmaan ELY-keskus
30.9.2016	Pauliina Kolari	suunnittelija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Jarno Laitinen	projektipäällikkö, PIMA-kokeiluhanke	Pirkanmaan ELY-keskus
	Matti Silvola	kehitysinsinööri	Suomen ympäristökeskus
28.10.2016	Pauliina Kolari	suunnittelija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Jarno Laitinen	projektipäällikkö, PIMA-kokeiluhanke	Pirkanmaan ELY-keskus
1.11.2016	Pauliina Kolari	suunnittelija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Jarno Laitinen	projektipäällikkö, PIMA-kokeiluhanke	Pirkanmaan ELY-keskus
4.11.2016	Petri Heino	hankinta-asiantuntija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Pauliina Kolari	suunnittelija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Jarno Laitinen	projektipäällikkö, PIMA-kokeiluhanke	Pirkanmaan ELY-keskus
	Ari Nygrén	yksikön päällikkö, Keskitetyt ympäristöpalvelut	Pirkanmaan ELY-keskus
30.11.2016	Pauliina Kolari	suunnittelija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Jarno Laitinen	projektipäällikkö, PIMA-kokeiluhanke	Pirkanmaan ELY-keskus
9.12.2016	Pauliina Kolari	suunnittelija	Pirkanmaan ELY-keskus
	Jarno Laitinen	projektipäällikkö, PIMA-kokeiluhanke	Pirkanmaan ELY-keskus
	Kari Pyötsiä	projektipäällikkö, Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma	Pirkanmaan ELY-keskus

